



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Reigo Roos

**SANGLEPA (*ALNUS GLUTINOSA* (L.) GAERTN.)
KOOREPARANDI UURIMINE TARMEKO SPOON AS
NÄITEL**

**BLACK ALDER (*ALNUS GLUTINOSA* (L.) GAERTN.) BARK
DEDUCTION ANALYSIS BASED ON TARMEKO SPOON LTD**

Magistritöö
Metsatööstuse õppekava

Juhendaja: teadur Allar Padari, *MSc*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Reigo Roos		Õppekava: Metsatööstus	
Pealkiri: Sanglepa (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.) kooreparandi uurimine Tarmeko Spoon AS näitel			
Lehekülgi: 70	Jooniseid: 23	Tabeleid: 7	Lisaid: 21
Õppetool:		Metsakorralduse ja metsatööstuse õppetool	
ETIS-e teadusvaldkond:		Metsandusteadus	
CERC S-i kood:		B430	
Juhendaja:		Allar Padari, <i>MSc</i>	
Kaitsmiskoht ja -aasta:		Tartu, 2018	
<p>Käesoleva magistritöö eesmärk oli uurida sanglepa koore paksuse sõltuvust diameetrist ja õhutemperatuurist ning koostada kooreparandid sanglepa vineeripakkudele. Töös koostati regressioonivalemid, mille abil on võimalik paku koorega diameetri kaudu arvutada kahekordset koore paksust, koore osakaalu diameetrist, kooreta diameetrit, koore mahtu, koore osakaalu mahust ja paku kooreta mahtu, nii talvisele kui suvisele perioodile. Lisaks koostati valem kahekordse koore paksuse arvutamiseks diameetri ja õhutemperatuuri kaudu.</p> <p>Tulemustest selgus, et suvel on koore paksus ja osakaal oluliselt suurem kui talvel. Pakkude keskmine kahekordne koore paksus oli suvel $14,46 \pm 0,40$ mm ja talvel $12,88 \pm 0,18$ mm. Keskmine koore osakaal diameetrist oli suvel $6,16 \pm 0,16\%$ ja talvel $5,63 \pm 0,07\%$ ning mahust vastavalt $11,53 \pm 0,28\%$ ja $10,57 \pm 0,13\%$. Analüüs näitas, et koore paksus suureneb õhutemperatuuri tõustes ja paku diameetri suurenedes. Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra suureneb kahekordne koore paksus 0,042 mm. Õhutemperatuuri mõju koore paksusele on logaritmiline. Temperatuuri muutudes -15 °C-st kuni 0 °C-ni muutub koore koore paksus 1,10 mm võrra ehk keskmiselt 0,073 mm/K ja temperatuuri muutudes 0 °C-st kuni $+15\text{ °C}$-ni 0,56 mm võrra ehk keskmiselt 0,038 mm/K.</p> <p>Töö tulemusena arvutati kooreparandite väärtused sanglepa vineeripakkudele diameetriga 170 – 380 mm. Kooreparandid arvutati eraldi talvisele ($t<0\text{ °C}$) ja suvisele ($t>0\text{ °C}$) perioodile. Lisaks arvutati kooreparandite väärtused vastavalt ööpäevasele keskmisele õhutemperatuurile. Koostatud kooreparandeid ja valemeid on võimalik kasutada erinevates sanglepa ümarpuiduga tegelevates ettevõtetes materjali kooreta mahu määramisel.</p>			
Märksõnad: koore paksus, koore maht, koore osakaal, õhutemperatuur			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Reigo Roos		Curriculum: Forest Industry	
Title: Black alder (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.) bark deduction analysis based on Tarmeko Spoon LTD			
Pages: 70	Figures: 23	Tables: 7	Appendixes: 21
Chair:		Chair of Forest Management Planning and Wood Processing Technologies	
Field of research:		Forest Sciences	
CERC S code:		B430	
Supervisor:		Allar Padari, <i>MSc</i>	
Place and date:		Tartu, 2018	
<p>The aim of this Master's thesis is to study the relation of black alder bark thickness to diameter and air temperature as well as to perform bark deductions for alder veneer logs. Regression formulas were prepared in order to calculate, using the diameter over bark, double bark thickness, the proportion of bark to diameter, the diameter under bark, bark volume, the proportion of bark to volume, and veneer log volume without bark for both winter and summer seasons. In addition, a formula was drafted for calculating double bark thickness using the diameter and the air temperature.</p>			
<p>The results showed that in summer bark thickness and proportion are both significantly higher than in winter. The average double bark thickness of veneer logs was $14.46 \pm 0,40$ mm in summer and $12.88 \pm 0,18$ mm in winter. The average proportion of bark to the diameter was $6.16 \pm 0,16\%$ in summer and $5.63 \pm 0,07\%$ in winter, and to volume, $11.53 \pm 0,28\%$ and $10.57 \pm 0,13\%$ respectively. The analysis showed that bark thickness increases as the air temperature and the veneer log diameter rise. As the bark diameter increases by 1 mm, double bark thickness increases by 0.042 mm. The effect of the air temperature on bark thickness is logarithmic. When the temperature changes from -15 °C to 0 °C, bark thickness changes by 1.10 mm, or an average of 0.073 mm/K and when temperature changes from 0 °C to +15 °C, bark thickness changes by 0,56 mm, or an average of 0.038 mm/K.</p>			
<p>As a result, the values of bark deduction for alder veneer logs with a diameter of 170-380 mm were calculated. Bark deductions were made for the winter ($t < 0$ °C) and the summer ($t > 0$ °C) periods. Additionally, the values of bark deduction were calculated according to the average daily air temperature. The bark deductions and the formulas can be used to determine the volume of timber in different companies that deal with black alder roundwood.</p>			
Keywords: bark thickness, bark volume, bark proportion, air temperature			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. MATERJAL JA METOODIKA	11
2. TULEMUSED	15
2.1. Talviste andmete analüüs.....	15
2.1.1. Koostatud regressioonivalemid	15
2.1.2. Koore paksus ja osakaal koorega diameetrist	16
2.1.3. Koore maht ja osakaal koorega mahust	18
2.2. Suviste andmete analüüs.....	21
2.2.1. Koostatud regressioonivalemid	21
2.2.2. Koore paksus ja osakaal koorega diameetrist	22
2.2.3. Koore maht ja osakaal koorega mahust	25
2.3. Talviste ja suviste andmete võrdlus	28
2.4. Koore paksuse ja osakaalu sõltuvus temperatuurist ja koorega diameetrist.....	32
2.5. Kooreparandite väärtused	36
2.6. Punasüdamiku analüüs	38
3. ARUTELU.....	41
KOKKUVÕTE	43
KASUTATUD KIRJANDUS	45
LISAD	48
Lisa 1. Kahekordse koore paksuse ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)	49
Lisa 2. Koore osakaalu diameetrist ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)	50
Lisa 3. Kooreta ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)	51
Lisa 4. Koore mahu ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)	52
Lisa 5. Koore osakaalu mahust ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)	53
Lisa 6. Kooreta mahu ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)	54
Lisa 7. Kahekordse koore paksuse ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)	55
Lisa 8. Koore osakaalu diameetrist ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)	56
Lisa 9. Kooreta ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)	57
Lisa 10. Koore mahu ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)	58
Lisa 11. Koore osakaalu mahust ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)	59
Lisa 12. Kooreta mahu ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)	60

Lisa 13. Dispersioonanalüüsi jääkide jaotusdiagramm kahekordse koore paksuse sõltuvusest koorega diameetrist ning aastaajast koos normaaljaotuse joonega	61
Lisa 14. Dispersioonanalüüsi jääkide jaotusdiagramm koore osakaalu (diameetrist) sõltuvusest koorega diameetrist ning aastaajast koos normaaljaotuse joonega	62
Lisa 15. Dispersioonanalüüsi jääkide jaotusdiagramm koore osakaalu (mahust) sõltuvusest koorega diameetrist ning aastaajast koos normaaljaotuse joonega	63
Lisa 16. Kahekordse koore paksuse ja temperatuuri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega	64
Lisa 17. Koore osakaalu diameetrist ja temperatuuri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega	65
Lisa 18. Koore osakaalu mahust ja temperatuuri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega	66
Lisa 19. Kahekordse koore paksuse, õhutemperatuuri ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega.....	67
Lisa 20. Kahekordne koore paksus diameetrite kaupa talvisel perioodil ($t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	68
Lisa 21. Kahekordne koore paksus diameetrite kaupa suvisel perioodil ($t > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	69

SISSEJUHATUS

Kuna puukoore väärtus võrreldes puiduga on üsna väike, arvestatakse metsamaterjaliga tehtavates tehingutes üldjuhul puu kooreta mahtu. Kui puu diameeter mõõdetakse koore pealt, siis tuleb kooreta diameetri saamiseks sellest maha lahutada kahekordne koore paksus ehk kooreparand. Võimalikult täpse kooreta mahu leidmiseks ja metsamaterjali eest õiglase hinna maksmiseks on oluline kasutada õigeid kooreparandeid.

Teema valik tulenes spoonitootmisega tegeleva ettevõtte Tarmeko Spoon AS soovist parandada sanglepa vineeripakkude mõõtmisel kasutatavaid kooreparandeid. Teema aktuaalsust Eestis kinnitab ka 2011. aastal Puidumõõtmise Ümarlaura poolt puidutöötlemisettevõtete seas läbi viidud küsitlus, mis käsitles kasutatavate puidumõõtmisviiside tehnilisi lahendusi (Küsitluse kokkuvõte... 2011). Saadud vastused näitasid, et koore mahaarvamise ja sellega seotud probleemistiku osas on Eesti puidutöötajad jäänud ilma metsateadlaste toest ja oleks vaja kiiresti tegeleda Eesti oludele vastavate koore mahaarvamise abi- ja juhendmaterjalide väljatöötamise ning kättesaadavaks tegemisega (Sealsamas).

Näiteks Uus-Meremaal tehtud uuring on näidanud, et harvestermõõtmisel kooreparandi mudelites vale puuliigi koefitsientide kasutamine toob kaasa suuri vigu palkide õigesse sortimenti määramisele ja mahu arvestamisele, mistõttu metsaomanik võib kaotada tulu kuni 11%. Uuring näitas ka, et puistupõhiste koore paksuse valemite kasutamine võib kaasa tuua 2-5% suurema tulu. Seetõttu on oluline kasutada puuliigile ja kasvukohatüübile vastavaid mudelite koefitsiente. (Marshall jt 2006)

Sanglepa ehk musta lepa (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) areaal on üsna lai, kasvades nii Kesk- kui ka Põhja-Euroopas, ulatudes põhjas Karjala lõunaosani ja idas Lääne-Siberisse. Esineb ka Krimmis, Kaukaasias, Väike-Aasias ja Põhja-Aafrikas. Eelistab kasvada viljakatel, kuid märgadel liikuva põhjaveega lodualadel, sageli kasvab jõgede läheduses lammialadel. Sanglepa puit on kerge, pehme, habras, kergesti töödeldav, vees väga vastupidav, toorelt valkjast, kuid kuivades muutub roosakaks. Sobib kasutamiseks vineeriks, mööblitööstuses, erinevateks nikerdustöödeks ja kütteks. Sanglepa puit on väga

hinnatud liha ja kala suitsutamisel. Koor on tumepruun ja rõmeline, vanemas eas paksu korbaga. (Laas 1987)

2016. aasta andmete põhjal moodustavad sanglepa enamusega puistud Eesti metsade kogupindalast 3,5% (75 137 ha) ja kogutagavarast 4,0% (19,2 milj tm) (Raudsaar jt 2017). Sanglepa enamusega puistute keskmine hektaritagavara on 255 tm/ha ja keskmine vanus 49 aastat (Sealsamas). Majandatavatest sanglepikutest moodustab küps mets 31,1% ja valmiv mets 16,5% (Sealsamas). Sanglepa tagavara Eesti metsades on kokku 23,1 miljonit tm, mis moodustab metsade kogu tagavarast 4,8% (Sealsamas). 2015. aasta andmetel oli sanglepa raiemaht 626 000 tm, mis moodustas kogu raiemahust 6,5% (Valgepea jt 2017).

Puukooreks loetakse tavaliselt kõik kihid, mis paiknevad tüves väljaspool kambiumi. Koor koosneb füsioloogiliselt aktiivsest sisekihist ehk niinest ning surnud rakkudega väliskihist ehk korbast. Niin ümbritseb kambiumit ja selle ülesanne on puumahlade juhtimine (laskuv vool). Väliskihi ülesanne on kaitsta puud erinevate kahjustuste eest ja ära hoida puu kuivamine. Korp sisaldab puiduga võrreldes vähem tselluloosi, kuid rohkem ligniini. Lisaks kuuluvad korba koostisesse veel parkained, rasvad ja vaik. Tüve jämenedes hakkab mitmetel puuliikidel (sh sanglepal) korp ebahetlaselt pikilõhedena pragunema ja seda nimetatakse kärnikkooreks. Koor moodustab tavaliselt ligi 10% kogu puu mahust. (Saarman, Veibri 2006)

Koore paksus ja maht sõltub puuliigist, vanusest, genotüübist ja kasvukohast. Koore mahtu väljendatakse tihti suhtarvuna puu tüve koorega mahust. Koore mahu protsent väheneb tüve rinnasdiameetri, kõrguse ja koonekoefitsiendi suurenedes. Kuna koore paksuse hulka arvestatakse ka kambiumi paksus, siis sõltub kuivamisest tingitud koore paksuse muutumine kambiumi osatähtsusest koore kogupaksusest. (Vaus 2005)

Eesti saetööstustes tekkiva puukoore koguseks hinnatakse 0,5 miljonit m³/a, mida kasutatakse enamasti puidukuivatitele soojuse tootmiseks või müüakse katlamajadele (Muiste jt 2007, Kukk 2015). Sanglepa koore kütteväärtus on 21,48 MJ/kg, mis ületab märgatavalt puidu põhimassi kütteväärtust (Nurmi 1993 ref Vares jt 2005). Puukoor sobib hästi ka komposti ja multši valmistamiseks (Kriipsalu jt 2016, Rehepapp 2013) ning seda on võimalik kasutada keemiatööstuse toormena vedelkütuste ja kemikaalide saamiseks (Veski jt 2005).

Koore paksuse ja osakaalu määramiseks sobivate mudelite leidmiseks on maailmas läbi viidud mitmeid uurimusi. Neist selgub, et koore paksus ja osakaal sõltub paljudest erinevatest näitajatest. Soome teadlased (Laasasenaho jt 2005) on koostanud koore paksuse mudelid hariliku kuusele (*Picea abies*). Uurimuses leiti, et koore paksus sõltub puu rinnasdiameetrist, kõrgusest, vanusest ja koondest (Sealsamas). Koore osakaal on tüve eri osades erinev, olles kõige suurem puu ülaosas (Sealsamas).

Läti teadlased töötasid välja mudelid, mis kirjeldavad männi (*Pinus sylvestris*), kuuse (*Picea abies*), arukase (*Betula pendula*) ja haava (*Populus tremula*) koore osakaalu. Nende uurimusest selgus, et kõige parema tulemuse andis puu kõrguse kaudu koore osakaalu tuletamine. Tulemustest toodi välja ka, et samast liigist puude koore osakaalu variatsioon on suur ja see on tingitud põhiliselt puude erinevatest mõõtmetest – väiksematel puudel on koore osakaal suurem kui suurematel. Tulemused kinnitasid, et kõigil uuritud puuliikidel oli suurim koore osakaal tüve ülaosas. (Liepiņš, Liepiņš 2015)

Koore paksuse sõltuvusest kasvukohatüübist ja geograafilise paiknemisest leidub kirjanduses erinevaid andmeid. Soomes leiti, et koore osakaalu ja kliima vahel esines oluline seos (Laasasenaho jt 2005). Koore osakaal oli suurem riigi põhjapoolses regioonis (Sealsamas). Samas kasvukohatüübi ja koore paksuse vahel olulist seost ei tuvastatud (Sealsamas). Lätis tehtud uurimuses aga olulist erinevust regioonide vahel välja ei tulnud (Liepiņš, Liepiņš 2015). Saksamaal tehtud uuring näitas samuti, et kliimavöötmetest olulisel määral koore paksus ei sõltu (Stängle jt 2016). Samas aga tuli uuringust välja, et kasvukoha tingimustel, mis mõjutavad ka suures osas puude kasvukiirust, on tugev mõju koore paksusele: parema tootlikkusega kasvukohtades on suhteline koore paksus väiksem (Sealsamas).

Rootsi metsandusorganisatsioon SDC (*Skogsbrukets Datacentral*) on loonud juhised palkide mahu määramiseks koore alt (SDC's instructions... 2014). Koore paksuse arvutamiseks kasutatakse valemit $Y = a + bX$, kus Y on kahekordne koore paksus, X ladvaotsa diameeter koore pealt ning a ja b konstandid. Männile on koostatud valemid 13 geograafilisele alale ja 3 koore paksusklassile (õhuke, keskmine ja paks). Kuusele on koostatud valemid 11 geograafilisele alale, aga ilma koore klassidesse jaotamiseta. (Zacco 1974 ref SDC's instructions... 2014)

Mitmed uurimused näitavad, et koore külmumisel toimub koore paksuse järsk vähenemine, sulamisel aga koore esialgne paksus taastub (Loris jt 1999; Zweifel, Häsler 2000; Ameglio jt 2001; Gall jt 2002). Šveitsi teadlaste tehtud uurimuses leiti, et koore paksus väheneb järsult (üle 1 mm) 2-3 päeva jooksul peale õhutemperatuuri langemist alla $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Zweifel, Häsler 2000). Loris jt (1999) saadud tulemused näitasid, et koore järsk kokkutõmbumine algab, kui koore temperatuur langeb $-0,4\ldots-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ni ning koore paksus väheneb kuni 1,2 mm.

Koore kokkutõmbumise põhjenduseks on kirjanduses toodud erinevaid seletusi. Koore kokkutõmbumine on põhiliselt tingitud füüsikalistest muutustest, mis pole seotud puu elutegevusega (Zweifel, Häsler 2000; Gall jt 2002). Talvised koorepaksuse muutused on otseselt või kaudselt seotud külmaga (Loris jt 1999). Otsene efekt on aktiivse koorekihi kokkutõmbumine külmumisel ja paisumine sulamisel (Sealsamas). Antud nähtus on põhjustatud jäätumisel aset leidvast vee ülekandumisest rakust rakkudevahelisele alale (rõhkude erinevuse mõjul), millega kaasneb raku mahu ja koos sellega kogu koe mahu vähenemine, ning sulamisel vee imendumisest rakku, mis toob kaasa raku paisumise (Sealsamas).

Zweifel ja Häsler (2000) tegid aga oma uurimusest järelduse, et koorepaksuse muutumine on tingitud külmumise põhjustatud vee liikumisest koore ja puidu vahel, mistõttu muutub koore veesisaldus. Samas kui Zweifel'i ja Häsler'i (2000) tulemused näitasid, et koore paksuse muutumiseks on vajalik koore ja puidu omavaheline kokkupuude, siis Ameglio jt (2001) uurimus näitas, et koore kokkupuude puiduga pole vajalik, et külma põhjustatud koore kokkutõmbumine aset leiaks.

Eestis on tehtud vaid mõningaid uurimusi eri puuliikide koore paksuse kohta. Põhjalikumalt on uuritud hariliku männi ja kuuse (Kohava 1997 ref Vaus 2005, Taremaa 2011) ning kase (Lilienthal 2017) koore paksust. Sanglepa ja halli lepa koore mahu kohta leidub vaid üksikuid andmeid, mille järgi peaks keskmine suhteline koore maht olema 12% lähedal (Vaus 2005).

Käesoleva magistritöö eesmärk oli uurida koore paksuse seost paku diameetriga ja õhutemperatuuriga ning luua kooreparandid sanglepa vineeripakkudele. Lisaks uuriti punasüdamikku esinemist ja selle osakaalu. Töö põhineb talvel mõõdetud 1003 paku ja suvel mõõdetud 352 paku andmetel. Talvised andmed on kogutud töö autori poolt

veebruaries 2018 ja suvised andmed õppepraktika käigus juunis 2017 koos kursusekaaslase Siim Urblaga. Sooja perioodi andmete väiksem kogus on tingitud lõputöö teema hilisest avaldamissoovist ning sademeterohkest sügisest tingitud materjali puudusest ettevõtte laos.

Töös esitatakse regressioonanalüüsi käigus koostatud valemid, mille abil on võimalik paku koorega diameetri kaudu arvutada kahekordset koore paksust, koore osakaalu diameetrist, kooreta diameetrit, koore mahtu, koore osakaalu mahust ja kooreta mahtu. Antud valemid koostati eraldi suvisele ja talvisele perioodile. Lisaks koostati kahekordse koore paksuse arvutamiseks valem, mille sisenditeks on koorega diameeter ja õhutemperatuur. Koostatud kahekordse koore paksuse valemite põhjal esitati kooreparandid sanglepa pakkudele diameetriga 170-380 mm.

1. MATERJAL JA METOODIKA

Antud uurimus viidi läbi Tartumaal Luunja vallas Lohkva külas AS Tarmeko Spoon tehase territooriumil. Mõõtmised tehti ajavahemikel 05.06. – 07.06.2017 ja 06.02. – 28.02.2018. Töö eesmärk oli mõõta sanglepa (*Alnus glutinosa* (L) Gaertn.) vineeripakkude koore paksust, et uurida selle sõltuvust paku diameetrist ja õhutemperatuurist.

Pakud võeti mõõtmiseks laost ja laotati mõõtmise hõlbustamiseks maapinnale laiali (joonis 1.1). Pakud olid diameetri järgi sorteerimata, seega oli mõõdetavate pakkude diameetrite jaotumine juhuslik. Mõõdetud pakud märgistati värviga ja paigutati eraldi, et vältida mõõdetud ja mõõtmata pakkude segamini ajamist.

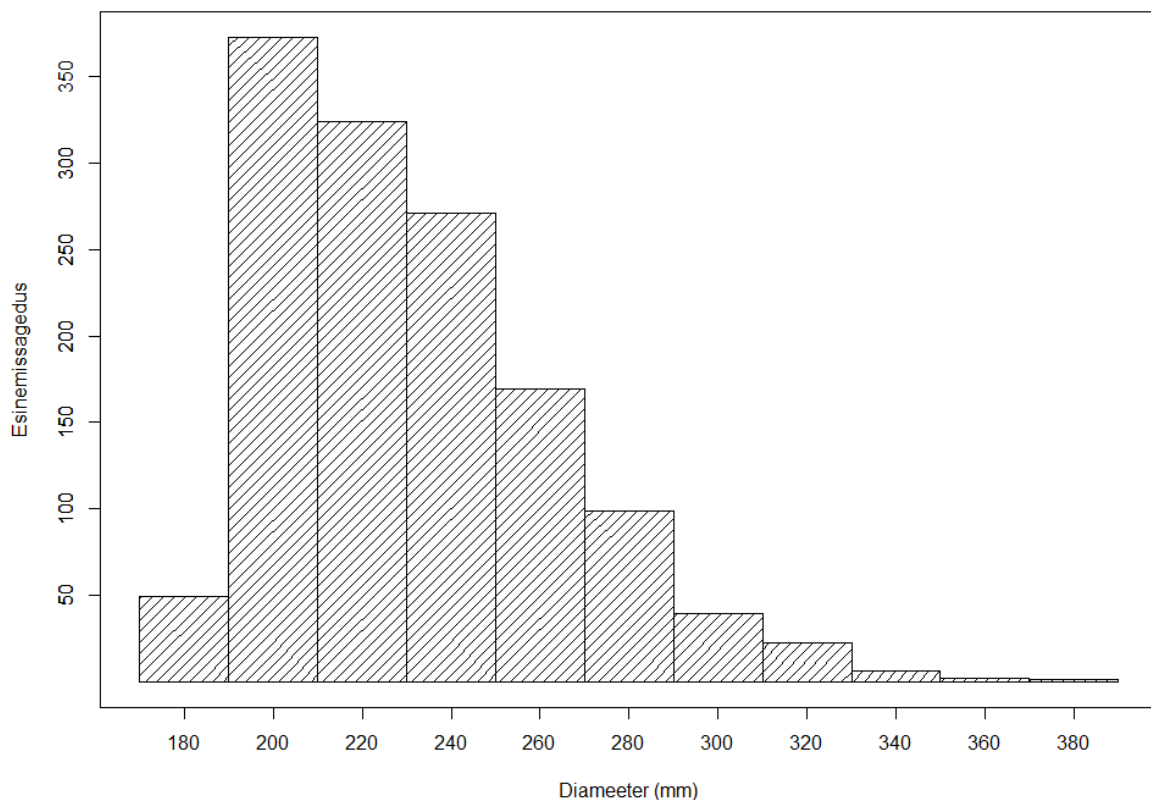


Joonis 1.1. Mõõtmiseks laotatud sanglepa vineeripakud.

Pakud mõõdeti ladvapoolest otsast, kasutades täpsuskluppi Mantax Blue 650 mm. Talviste andmete kogumisel tehti paku diameetrite saamiseks mõõtmised risti kahes suunas, arvestades paku ebasümmeetrisust. Kõigepealt mõõdeti diameeter koore pealt ning seejärel samas suunas koore alt. Lisaks sellele tehti kaks mõõtmist punasüdamikule, et

hinnata selle osakaalu. Suviste andmete kogumisel mõõdeti pakud ühes suunas, arvestades paku ebasümmeetrilisust, punasüdamikku ei mõõdetud.

Kokku mõõdeti 1355 vineeripakku: 1003 talvel ja 352 suvel. Mõõdetud pakkude diameetrite jaotumine on kujutatud joonisel 1.2. Mõõtmisi tehti kokku 11-l päeval ja ööpäeva keskmine õhutemperatuur Tartu-Tõravere ilmajaama andmetel oli neil päevadel vahemikus -18,5...17,0 °C (Vaatlusandmed 2018).



Joonis 1.2. Mõõdetud vineeripakkude diameetrite jaotumine.

Andmete sisestamiseks ja analüüsimiseks kasutati tabelarvutustarkvara Microsoft Excelit ja statistikaprogrammi R. Kahekordse koore paksuseks arvestati koorega ja kooreta diameetrite vahet. Diameetrite väärtusteks võeti kahe ristisuunas tehtud mõõtmise aritmeetiline keskmine. Mahtude arvutamiseks kasutati Nilsoni palgi mahu valemit (Jänes 2001). Pakkude pikkuseks arvestati 33 dm. Seoste analüüsimiseks teostati lineaarne regressioonanalüüs, kasutades statistikaprogrammi R funktsiooni „lm” (Crawley 2007; Sims, Kiviste 2011). Mudelite võrdlemisel kasutati funktsioone „anova” ja „AIC”. Võrreldi erinevaid regressioonivõrrandeid (lineaarne, ruutparabool, eksponent- ja

logaritmifunktsioon), millest valiti välja kõige paremini seost kirjeldav võrrandikuju. Mudelitest, millel ei olnud olulist erinevust, valiti lihtsama võrrandikujuga mudel (Occami printsiip).

Mudelite võrdlemisel vaadeldi regressioonvõrrandi korrigeeritud determinatsioonikordajat (*Adjusted R²*), jääkstandardhälvet (*s_e*) ja olulisuse tõenäosust (*p-value*). Determinatsioonikordaja näitab, kui suurt osa funktsioontunnuse varieeruvusest kirjeldatakse regressioonivõrrandiga. Jääkstandardhälve ehk prognoosiviga on funktsioontunnuse ruutkeskmine erinevus regressioonjoonest. Olulisuse tõenäosuseks nimetatakse vähimat olulisuse nivood, mille korral saab antud valimi põhjal sisukat hüpoteesi tõestada. Metsanduses võetakse olulisuse nivooks tavaliselt 0,05. (Kiviste 2007)

Regressioonanalüüsi eelduseks on, et jäägid oleksid normaaljaotusega. Regressioonijääkide normaaljaotusele vastavuse kontrollimiseks kujutati jäägid histogrammil, millele lisati normaaljaotuse joon statistikaprogrammi R funktsiooniga „*dnorm*”. (Crawley 2007)

Uuritud seoste kirjeldamiseks sobisid kõige paremini sirge (valem 1.1), ruutparabooli (valem 1.2) ja logaritmifunktsiooni (valem 1.3) valemikujud:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot d, \quad (1.1)$$

kus y – vaadeldav tunnus;
 d – paku koorega diameeter mm;
 β_0, β_1 – valemi konstandid;

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2, \quad (1.2)$$

kus y – vaadeldav tunnus;
 d – paku koorega diameeter mm;
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ – valemi konstandid;

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(t + 25), \quad (1.3)$$

kus y – vaadeldav tunnus;
 t – ööpäeva keskmine õhutemperatuur °C;
 β_0, β_1 – valemi konstandid.

Vaadeldavad tunnused, nende ühikud ja valemite parameetrite väärtused on esitatud tabelites 2.1, 2.2 ja 2.4.

Talvise ja suvise koore paksuse ja osakaalu erinevuste tõestamiseks teostati dispersioonanalüüs, kus nominaalse tunnuseks lisati andmetele aastaaga näitav tähis. Selleks kasutati valemit 1.4:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2, \quad (1.4)$$

kus y – vaadeldav tunnus;

d – paku koorega diameeter mm;

β_0, β_1 – valemi konstandid;

β_2 – aastaajast sõltuv konstant (talv).

Dispersioonanalüüsil leitud valemikonstantide väärtused ja olulisuse tõenäosused on esitatud tabelis 2.3.

Kahekordse koore paksuse seost diameetri ja õhutemperatuuriga sobis kõige paremini kirjeldama valem 1.5:

$$y = \beta_1 \cdot \ln(t + 25) + \beta_2 \cdot d, \quad (1.5)$$

kus y – vaadeldav tunnus;

t – ööpäeva keskmine õhutemperatuur °C;

d – paku koorega diameeter mm;

β_1, β_2 – valemi konstandid.

Regressioonvalemi (valem 1.5) konstandid ja statistilised parameetrid on esitatud tabelis 2.4.

2. TULEMUSED

2.1. Talviste andmete analüüs

2.1.1. Koostatud regressioonivalemid

Talviste andmete põhjal koostati 6 regressioonivõrrandit, millega on võimalik arvutada paku koorega diameetri kaudu kahekordset koore paksust, koore osakaalu diameetrist, kooreta diameetrit, koore mahtu, koore osakaalu paku koorega mahust ja paku kooreta mahtu. Koore mahu ja paku kooreta mahu kirjeldamiseks sobis kõige paremini ruutparabool (valem 1.2). Ülejäänuid seoseid sobis kirjeldama sirge (valem 1.1). Koostatud valemite parameetrid on esitatud tabelis 2.1.

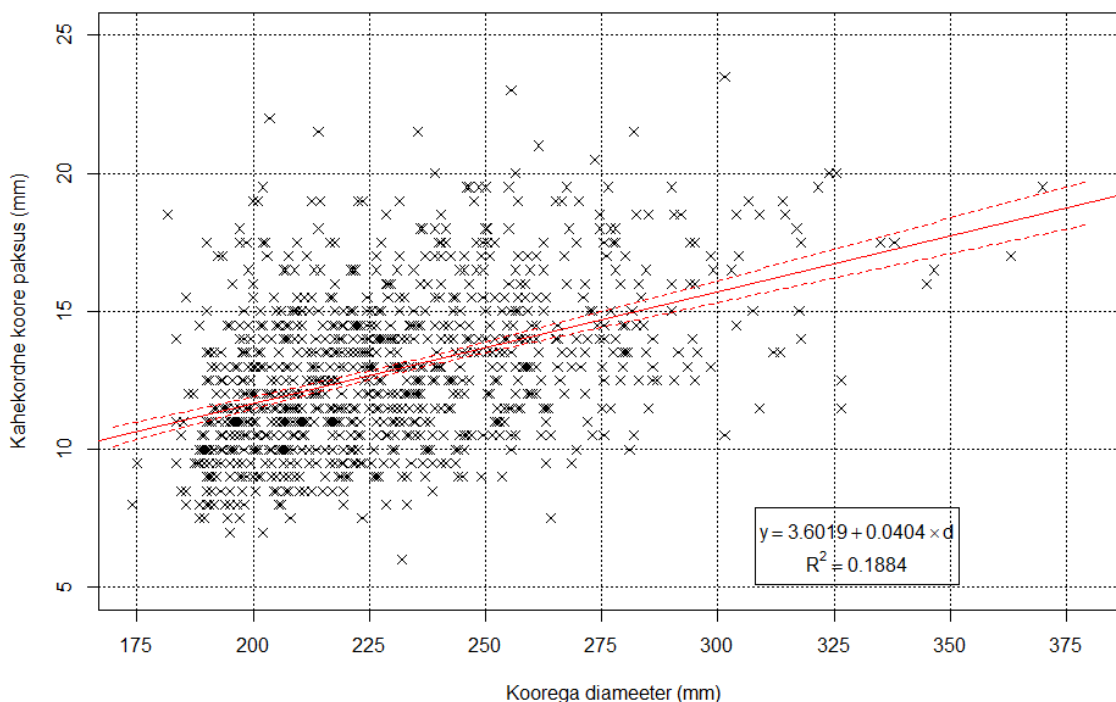
Tabel 2.1. Talviste regressioonivalemite parameetrid

Sõltuv muutuja (y)	Statistilised parameetrid			Valemi kordajate väärtused		
	R ²	prognoosi- viga	p-väärtus	β ₀	β ₁	β ₂
Kahekordne koore paksus, mm	0,1884	2,577	<2,2·10 ⁻¹⁶	3,602	0,04037	-
Kahekordse koore paksuse osakaal diameetrist, %	0,0262	1,140	1,551·10 ⁻⁷	7,049	-6,176·10 ⁻³	-
Kooreta diameeter, mm	0,9925	2,577	<2,2·10 ⁻¹⁶	-3,602	0,9596	-
Koore maht, m ³	0,6051	3,223·10 ⁻³	<2,2·10 ⁻¹⁶	-2,931·10 ⁻³	4,399·10 ⁻⁵	1,742·10 ⁻⁷
Koore osakaal mahust, %	0,0152	2,069	5,316·10 ⁻⁵	12,544	-8,608·10 ⁻³	-
Kooreta maht, m ³	0,9932	3,222·10 ⁻³	<2,2·10 ⁻¹⁶	7,687·10 ⁻³	-4,282·10 ⁻⁵	2,664·10 ⁻⁶

Kõik kuus seost osutusid oluliseks (p<0,05). Determinatsioonikordaja (R²) järgi oli seos kõige tugevam (R²>0,99) koorega diameetri ja kooreta diameetri ning koorega diameetri ja kooreta mahu vahel. Kõige nõrgem oli seos (R²<0,03) koorega diameetri ja kahekordse koore paksuse osakaalu ning koorega diameetri ja koore mahu osakaalu vahel.

2.1.2. Koore paksus ja osakaal koorega diameetrist

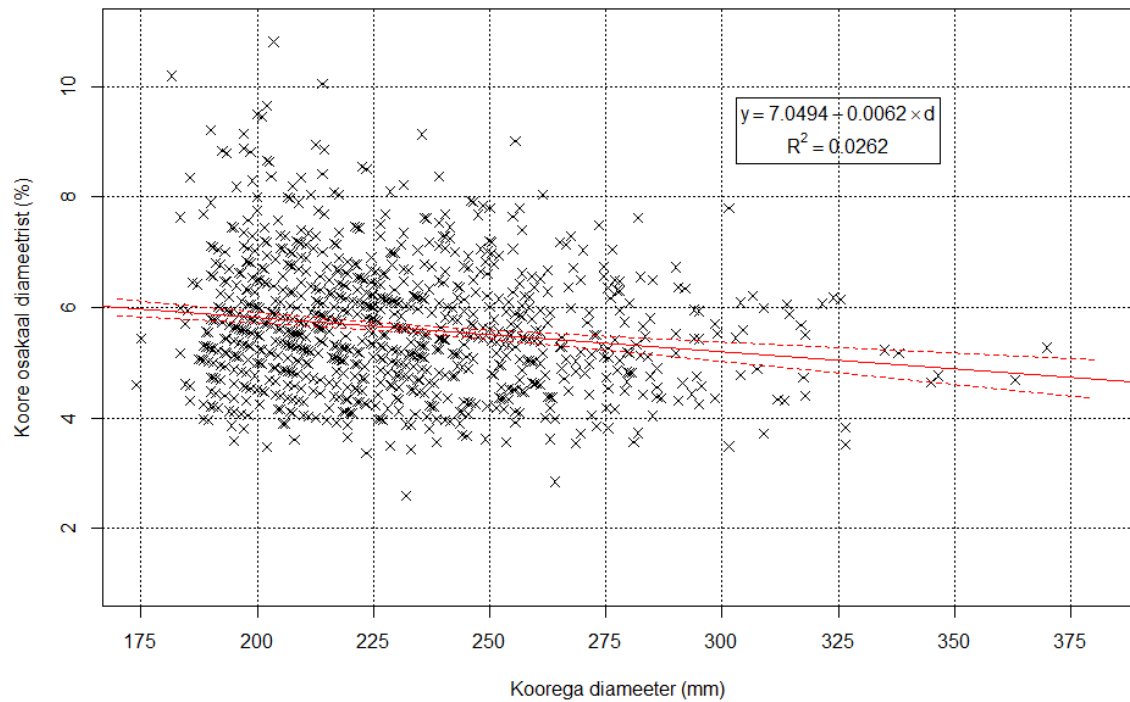
Talvel mõõdetud 1003 paku kahekordse koore paksuse väärtused koos regressioonivõrrandi graafikuga on esitatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1. Kahekordse koore paksuse ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Antud seost kirjeldab kõige paremini sirge (valem 1.1). Paku koorega diameetri suurenedes kasvab lineaarselt paku kahekordne koore paksus. Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra kasvab antud mudeli järgi kahekordne koore paksus 0,040 mm võrra. Keskmine kahekordne koore paksus koos 95%-usalduspiiridega oli talvel mõõdetud pakkudel $12,88 \pm 0,18$ mm. Kahekordne koore paksus varieerus 6 mm-st 23,5 mm-ni. Regressioonijääkidest koostati histogramm (lisa 1), mille järgi jääkide jaotumine on sarnane normaaljaotusega.

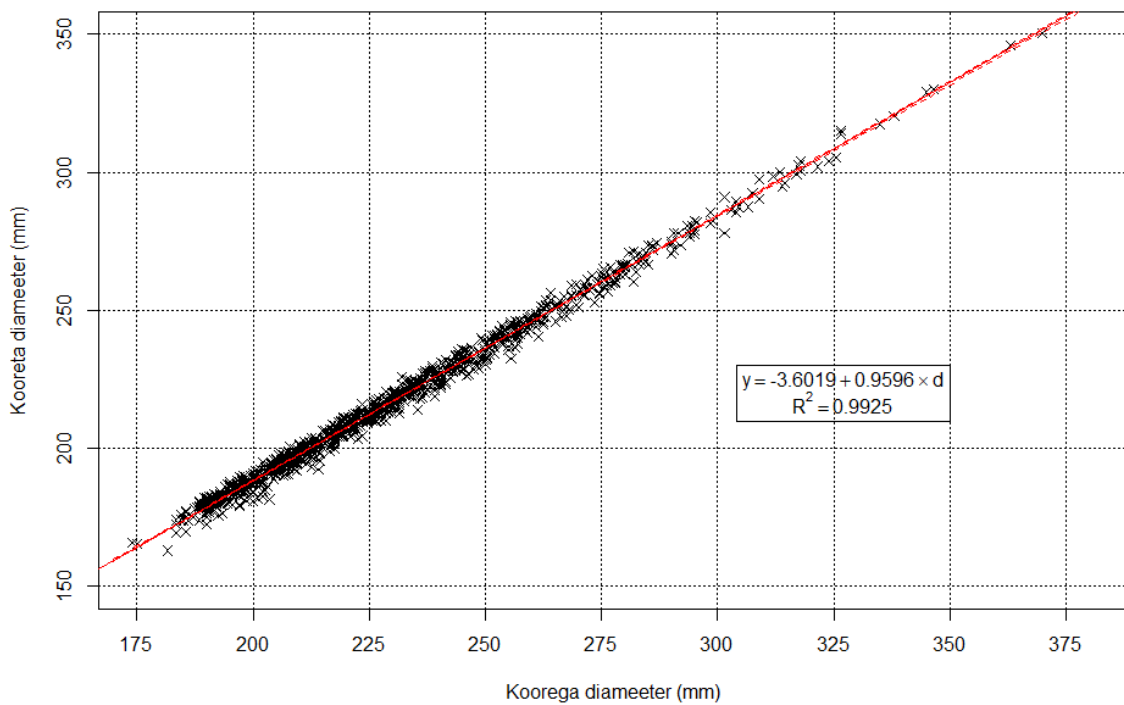
Analüüs näitas, et koore osakaal diameetrist hakkab diameetri suurenedes vähenema. Antud seost iseloomustab kõige paremini sirge (joonis 2.2).



Joonis 2.2. Koore osakaalu ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra väheneb koore osakaal diameetrist 0,006% võrra. Keskmine koore osakaal diameetrist koos 95% usalduspiiridega oli talvel mõõdetud pakkudel $5,63 \pm 0,07\%$. Koore osakaal varieerus 2,59%-st 10,81%-ni. Regressioonijääkidest koostati histogramm (lisa 2), mille järgi jääkide jaotumine sarnaneb normaaljaotusega.

Joonisel 2.3 on kujutatud seos kooreta ja koorega diameetri vahel. Seos on lineaarne ja väga tugev ($R^2 = 0,9925$).

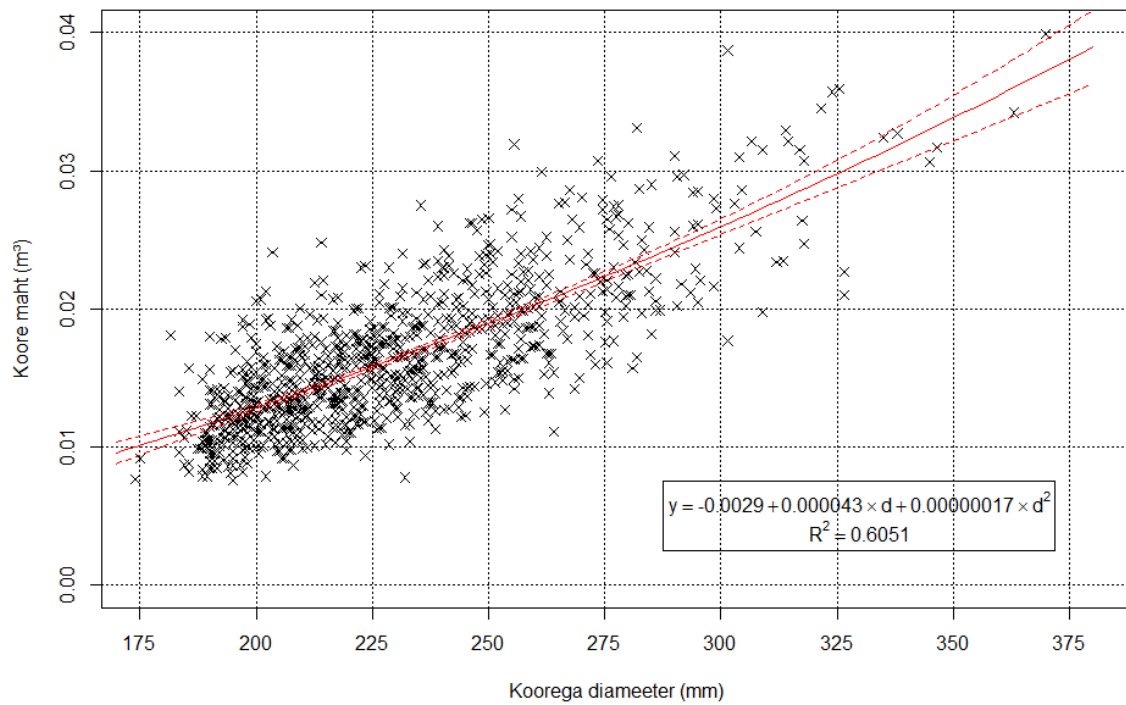


Joonis 2.3. Kooreta ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Antud mudel näitab, et koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra kasvab kooreta diameeter 0,96 mm võrra. Regressioonijääkidest koostati histogramm (lisa 3), mis sarnaneb normaaljaotusega.

2.1.3. Koore maht ja osakaal koorega mahust

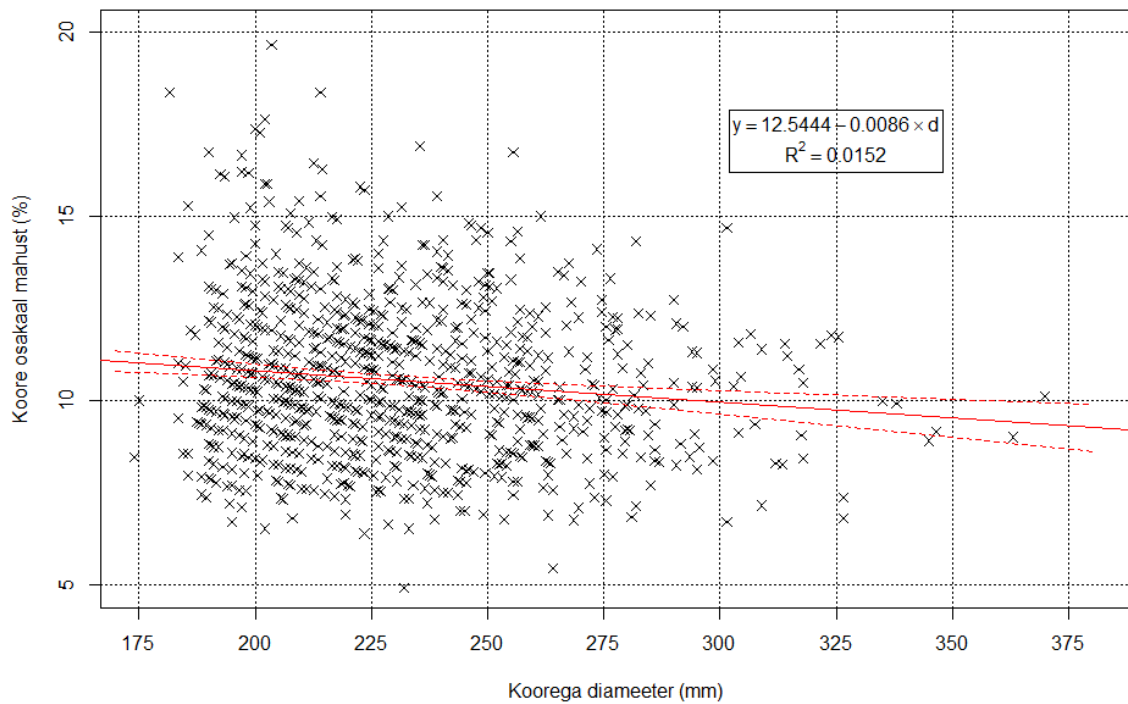
Koore maht erinevate koorega diameetri väärtuste korral koos regressioonivõrrandi graafikuga on kujutatud joonisel 2.4.



Joonis 2.4. Koore mahu ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Koore mahu ja koorega diameetri vahelist seost iseloomustab kõige täpsemalt ruutparabool (valem 1.2). Antud seost võib lugeda üsna tugevaks ($R^2 = 0,6051$). Koorega diameetri suurenedes suureneb ka koore maht. Keskmise koore maht oli talvel mõõdetud pakkudel $0,0165 \text{ m}^3$. Regressioonijääkidest koostatud histogramm (lisa 4) sarnaneb normaaljaotusega.

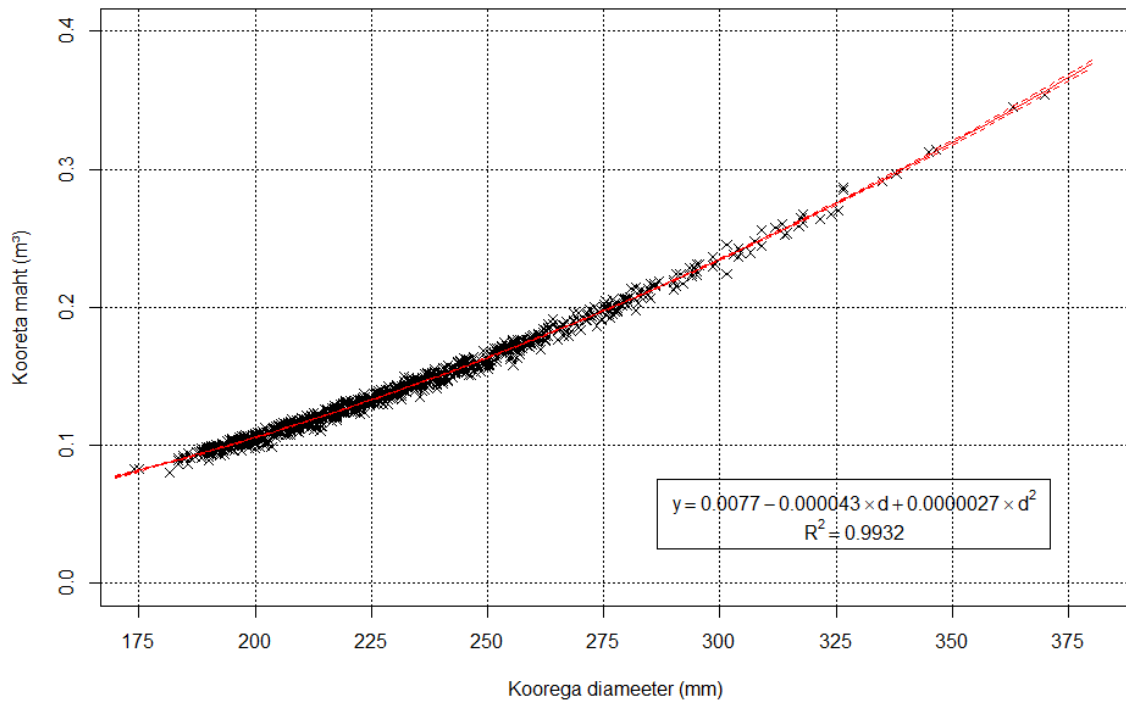
Koore mahu osakaal paku koorega mahust kahaneb lineaarselt paku diameetri suurenedes (joonis 2.5).



Joonis 2.5. Koore osakaalu ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra väheneb koore osakaal mahust 0,0086% võrra. Keskmise koore osakaal koos 95% usalduspiiridega oli talvel mõõdetud pakkudel $10,57 \pm 0,13\%$. Koore osakaal varieerus 4,94%-st 19,67%-ni. Regressioonijääkidest koostati histogramm, mis sarnaneb normaaljaotusega (lisa 5).

Järgnevalt koostati mudel, mille järgi saab leida paku kooreta mahtu koorega diameetri kaudu (joonis 2.6). Parimaks regressioonivõrrandi kujuks osutus ruutparabool.



Joonis 2.6. Kooreta mahu ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Determinatsioonikordaja väärtus ($R^2 = 0,9932$) näitab väga tugevat seost kooreta mahu ja koorega diameetri vahel. Regressioonijääkidest koostati histogramm, mis ei erine märgatavalt normaaljaotusest.

2.2. Suviste andmete analüüs

2.2.1. Koostatud regressioonivalemid

Sarnaselt talviste andmetele, koostati ka suviste andmete põhjal 6 regressioonvõrrandit, mille abil on võimalik arvutada paku koorega diameetri kaudu kahekordse koore paksust, koore osakaalu koorega diameetrist, kooreta diameetrit, koore mahtu, koore osakaalu paku koorega mahust ja paku kooreta mahtu. Enamikke seoseid sobis kirjeldama sirge (valem 1.1). Paku kooreta mahu ja koorega diameetri vahelist seost iseloomustas kõige paremini ruutparabool (valem 1.2). Koostatud valemite parameetrid on esitatud tabelis 2.2.

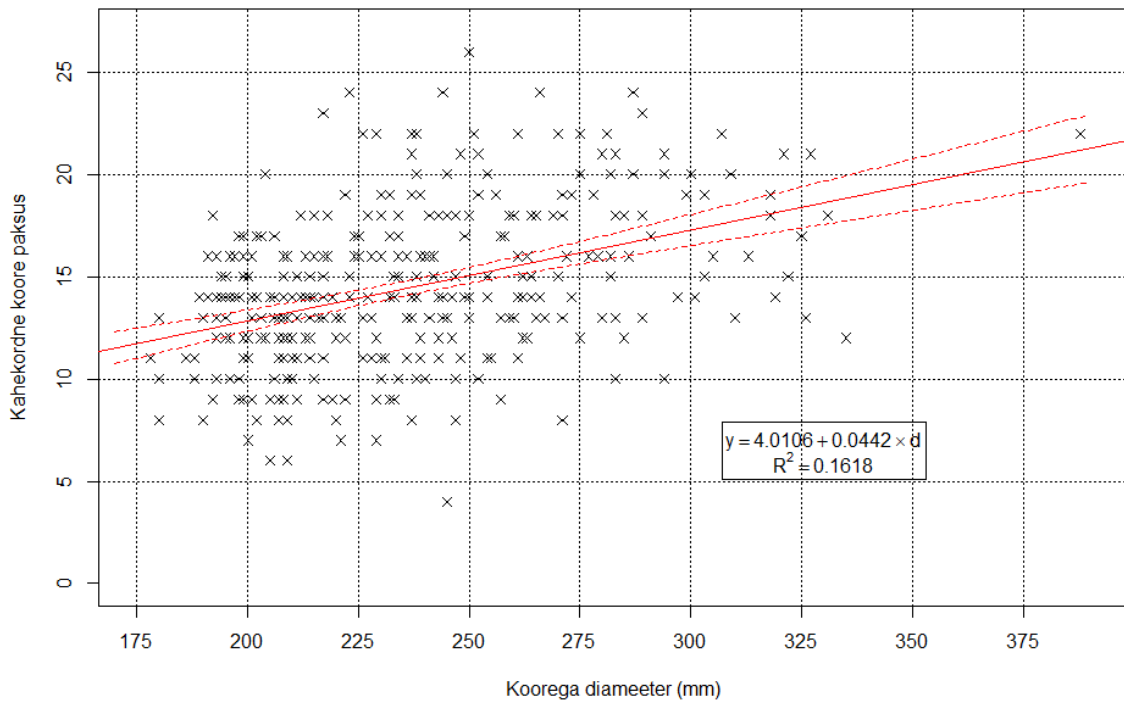
Tabel 2.2. Suviste regressioonivalemite parameetrid

Sõltuv muutuja (y)	Statistilised parameetrid			Valemi kordajate väärtused		
	R ²	prognoosiviga	p-väärtus	β ₀	β ₁	β ₂
Kahekordne koore paksus, mm	0,1618	3,456	$2,428 \cdot 10^{-15}$	4,011	0,04425	-
Kahekordse koore paksuse osakaal diameetrist, %	0,01929	1,467	$5,205 \cdot 10^{-3}$	7,659	$-6,370 \cdot 10^{-3}$	-
Kooreta diameeter, mm	0,9892	3,456	$<2,2 \cdot 10^{-16}$	-4,011	0,9558	-
Koore maht, m ³	0,5514	$4,472 \cdot 10^{-3}$	$<2,2 \cdot 10^{-16}$	-0,01485	$1,436 \cdot 10^{-4}$	-
Koore osakaal mahust, %	0,01041	2,662	0,03099	13,631	$-8,904 \cdot 10^{-3}$	-
Kooreta maht, m ³	0,9900	$4,479 \cdot 10^{-3}$	$<2,2 \cdot 10^{-16}$	0,01456	$-1,014 \cdot 10^{-4}$	$2,757 \cdot 10^{-6}$

Kõik koostatud mudelit osutusid oluliseks ($p < 0,05$). Sarnaselt talvistele andmetele, on determinatsioonikordaja järgi kõige paremini kirjeldatud ($R^2 > 0,98$) seosed kooreta diameetri ja koorega diameetri ning kooreta mahu ning koorega diameetri vahel. Kõige nõrgem ($R^2 < 0,02$) oli seos koore paksuse osakaalu ja koorega diameetri ning koore mahu osakaalu ja koorega diameetri vahel.

2.2.2. Koore paksus ja osakaal koorega diameetrist

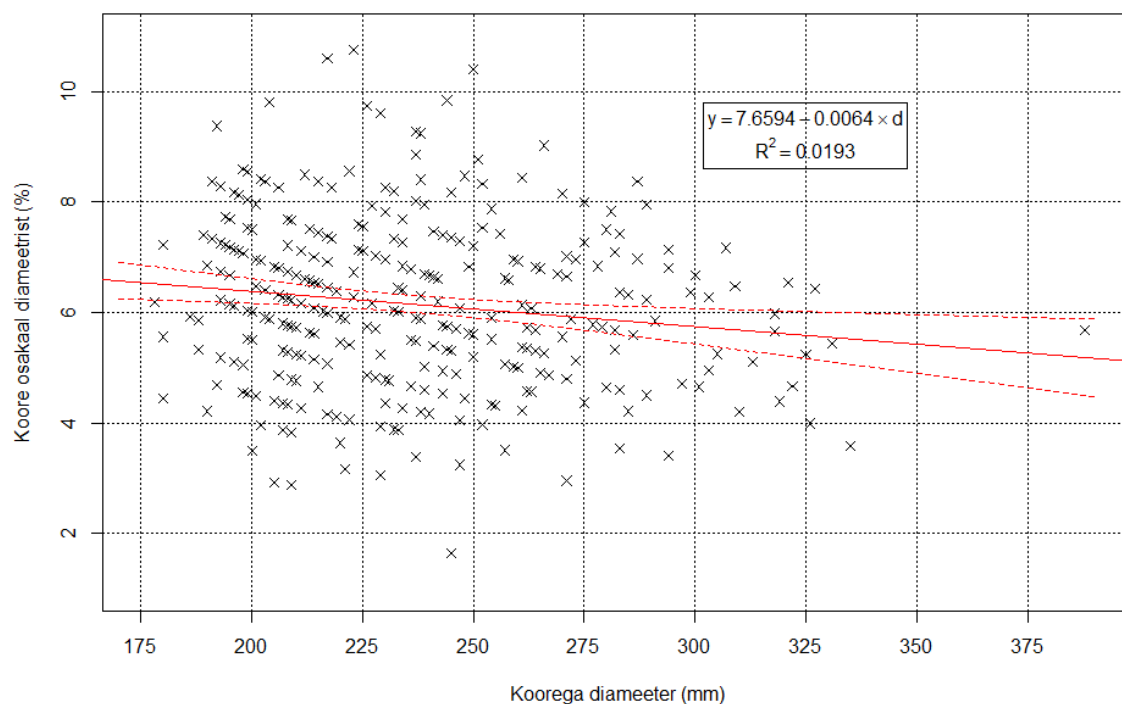
Suvel mõõdetud 352 vineeripaku kahekordse koore paksuse väärtused koos regressioonivõrrandi graafikuga on esitatud joonisel 2.7.



Joonis 2.7. Kahekordse koore paksuse ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Paku koorega diameetri suurenedes suureneb ka paku kahekordne koore paksus. Diameetri suurenedes 1 mm võrra suureneb antud mudeli järgi koore paksus 0,044 mm võrra. Keskmise kahekordse koore paksuse koos 95% usalduspiiridega oli suvel mõõdetud pakkudel $14,46 \pm 0,40$ mm. Kahekordne koore paksus varieerus 4 mm-st 26 mm-ni. Regressioonijääkidest koostati histogramm, mille järgi jääkide jaotumine sarnaneb normaaljaotusega (lisa 7).

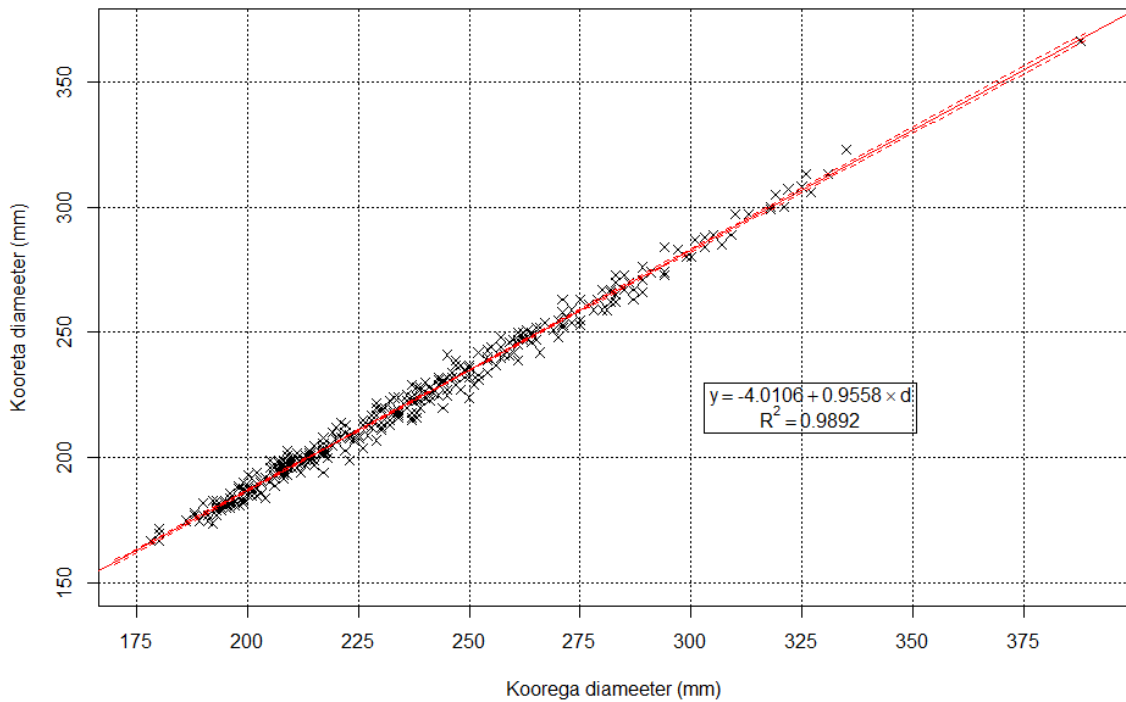
Koore osakaal diameetrist hakkab diameetri suurenedes vähenema. Seost kirjeldab kõige paremini lineaarne mudel (joonis 2.8).



Joonis 2.8. Koore osakaalu ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra väheneb koore osakaal diameetrist 0,006% võrra. Keskmine koore osakaal koos 95% usalduspiiridega oli suvel mõõdetud pakkudel $6,16 \pm 0,16\%$. Koore osakaal varieerus 1,63%-st 10,76%-ni. Regressioonijääkidest koostati histogramm, mis sarnaneb normaaljaotusega (lisa 8).

Kooreta diameetri leidmiseks koorega diameetri kaudu sobib kõige paremini lineaarne mudel (joonis 2.9). Determinatsioonikordaja väärtus ($R^2=0,9892$) näitab väga tugevat seost.

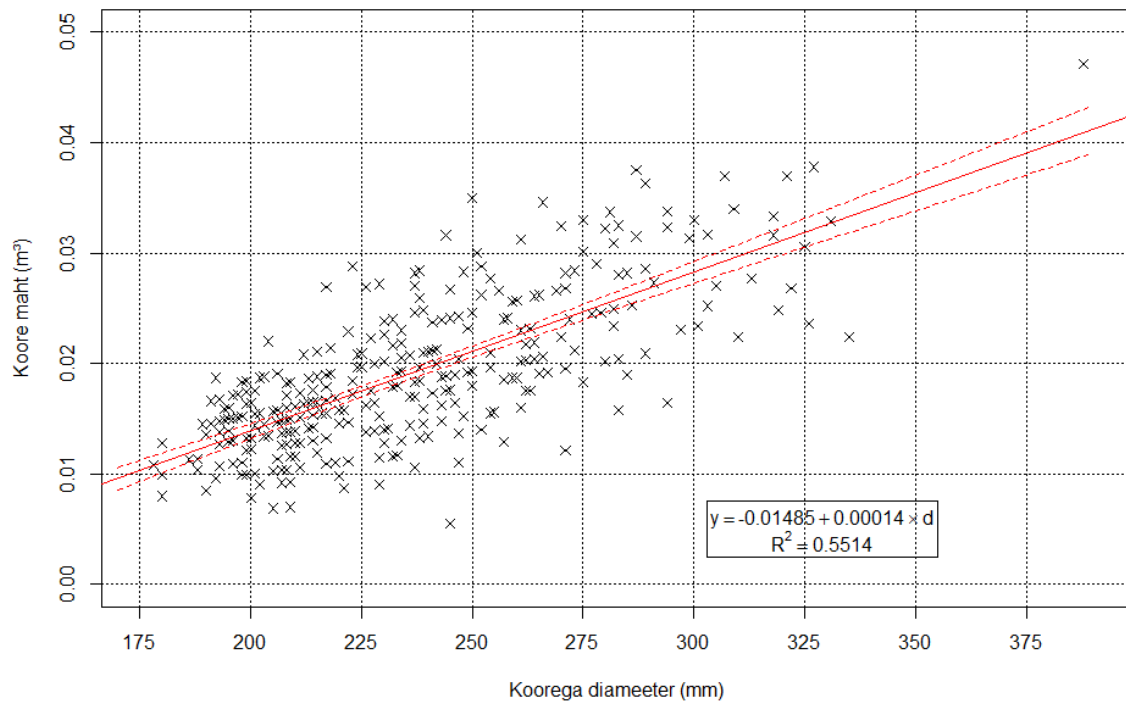


Joonis 2.9. Kooreta ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Saadud mudel näitab, et koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra suureneb kooreta diameeter 0,96 mm võrra. Regressioonijääkidest koostati histogramm, mille järgi jääkide jaotus sarnaneb normaaljaotusega (lisa 9).

2.2.3. Koore maht ja osakaal koorega mahust

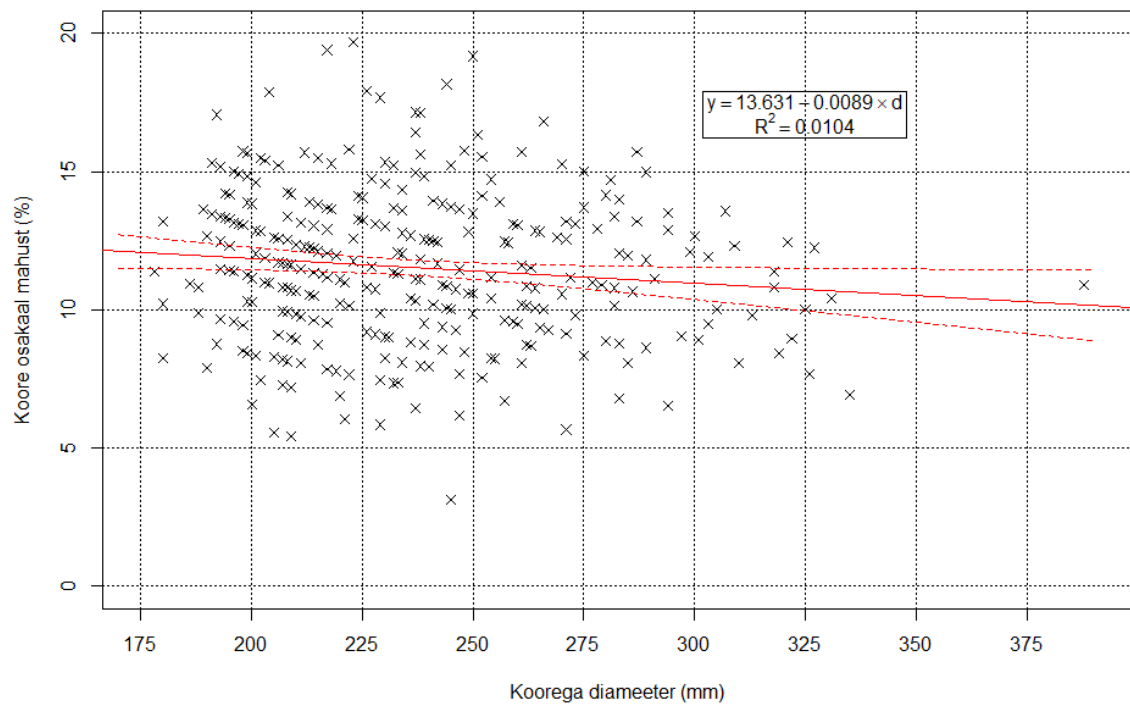
Erinevate diameetritega vineeripakkude koore maht koos regressioonivõrrandi graafikuga on kujutatud joonisel 2.10.



Joonis 2.10. Koore mahu ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Koore mahu ja koorega diameetri vahelise seose puhul osutus parimaks lineaarne mudel. Koorega diameetri suurenemisel 1 mm võrra suureneb koore maht $0,00014 \text{ m}^3$ võrra. Keskmise koore maht oli suvel mõõdetud pakkudel $0,019 \text{ m}^3$. Regressioonijääkidest koostati histogramm, mis ei erine märgatavalt normaaljaotusest (lisa 10).

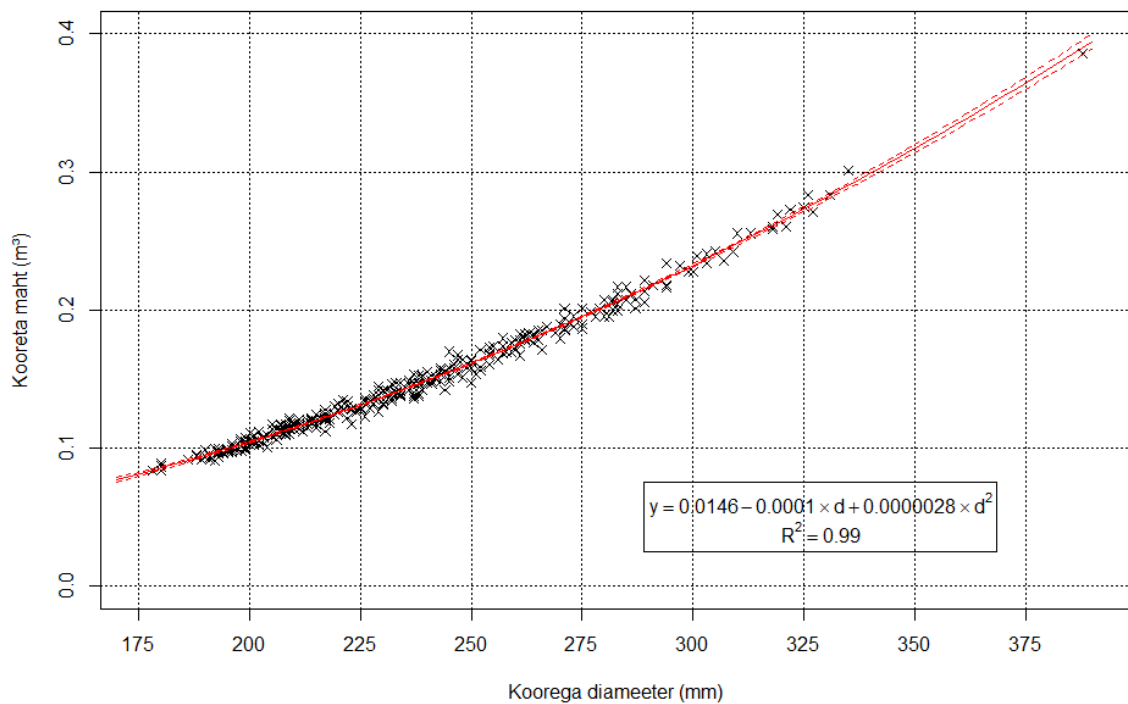
Koore osakaal mahust väheneb koorega diameetri suurenedes. Antud seost sobis kõige paremini kirjeldama sirge (joonis 2.11).



Joonis 2.11. Koore osakaalu ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra väheneb koore osakaal mahust 0,009% võrra. Keskmise koore osakaal mahust koos 95% usalduspiiridega oli suvel mõõdetud pakkudel $11,53 \pm 0,28\%$. Koore osakaal varieerus 3,14%-st 19,70%-ni. Regressioonijääkidest koostati histogramm, mille järgi jääkide jaotus sarnaneb normaaljaotusega (lisa 11).

Järgnevalt koostati regressioonivalem, mille järgi saab arvutada paku kooreta mahtu koorega diameetri kaudu. Antud seost osutus kõige paremini kirjeldama ruutparabool (joonis 2.12).

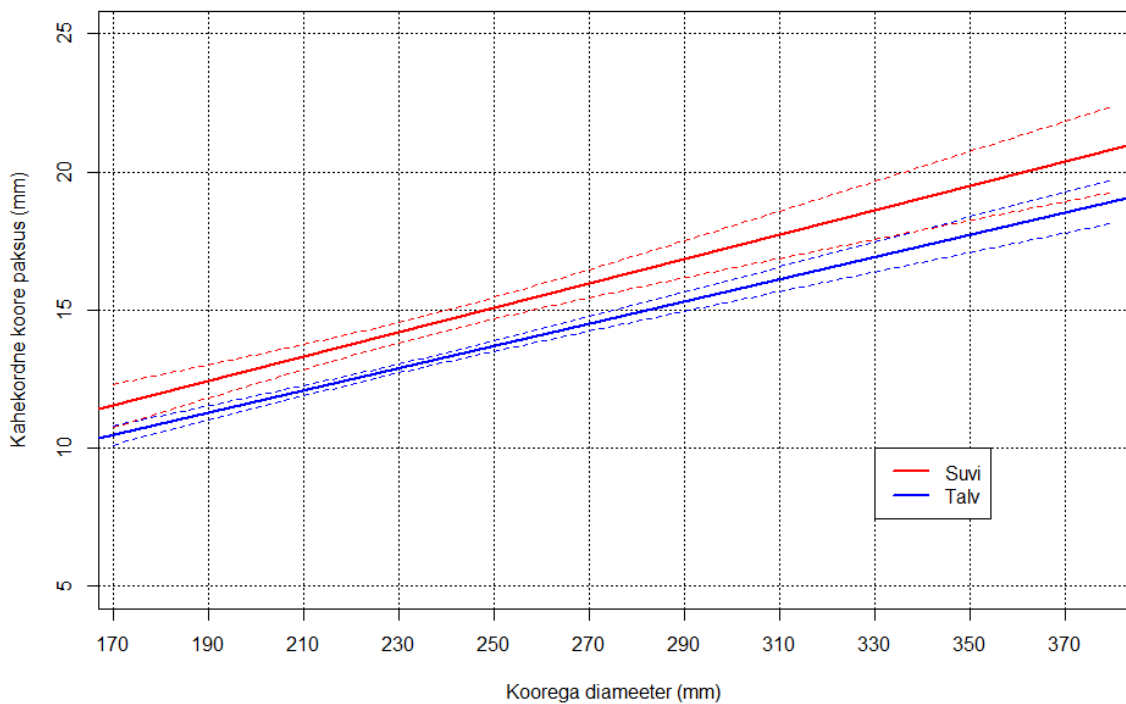


Joonis 2.12. Kooreta mahu ja koorega diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Determinatsioonikordaja näitab, et antud mudeli kirjeldav seos on väga tugev ($R^2=0,99$). Regressioonijääkidest koostati histogramm, mis sarnaneb normaaljaotusega (lisa 12).

2.3. Talviste ja suviste andmete võrdlus

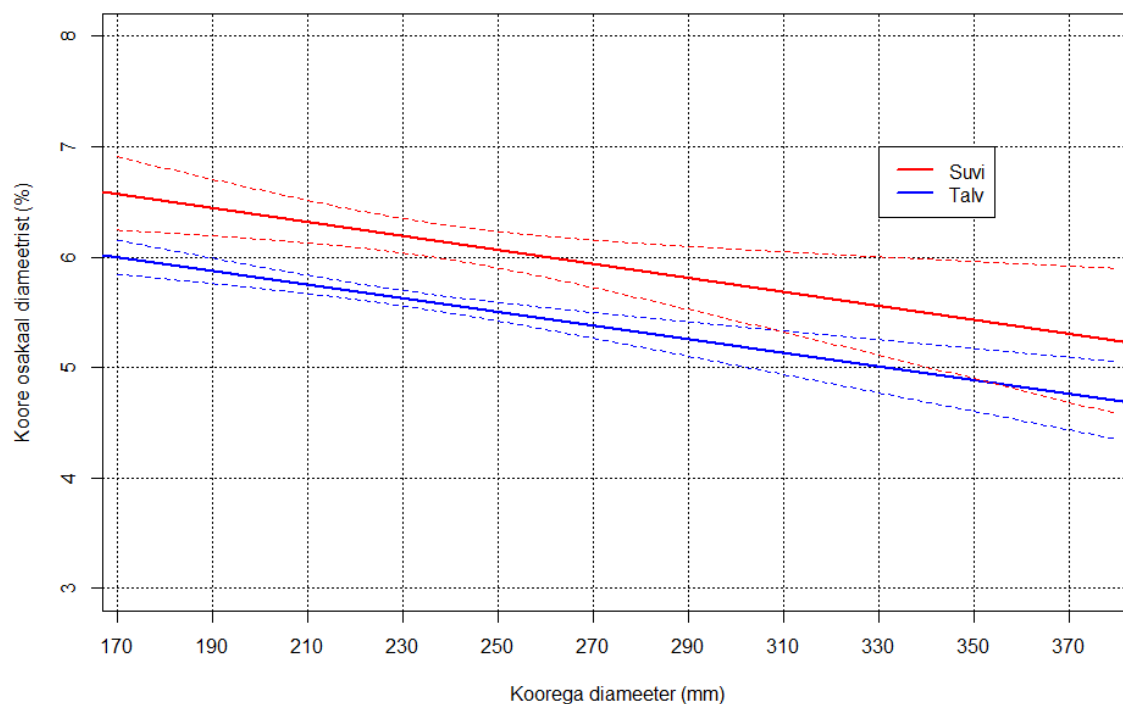
Talviste ja suviste mudelite võrdluses tuli välja oluline erinevus koore paksuses ja osakaalus. Talvisel perioodil (-18,5...-0,9 °C) oli koore paksus ja osakaal tunduvalt väiksem kui suvisel perioodil (10,5...17,0 °C). Joonisel 2.13 on kujutatud talviste ja suviste andmete põhjal koostatud kahekordse koorepaksuse mudelite graafikud.



Joonis 2.13. Talviste ja suviste andmete põhjal koostatud kahekordse koorepaksuse mudelite graafikud koos 95% usalduspiiridega.

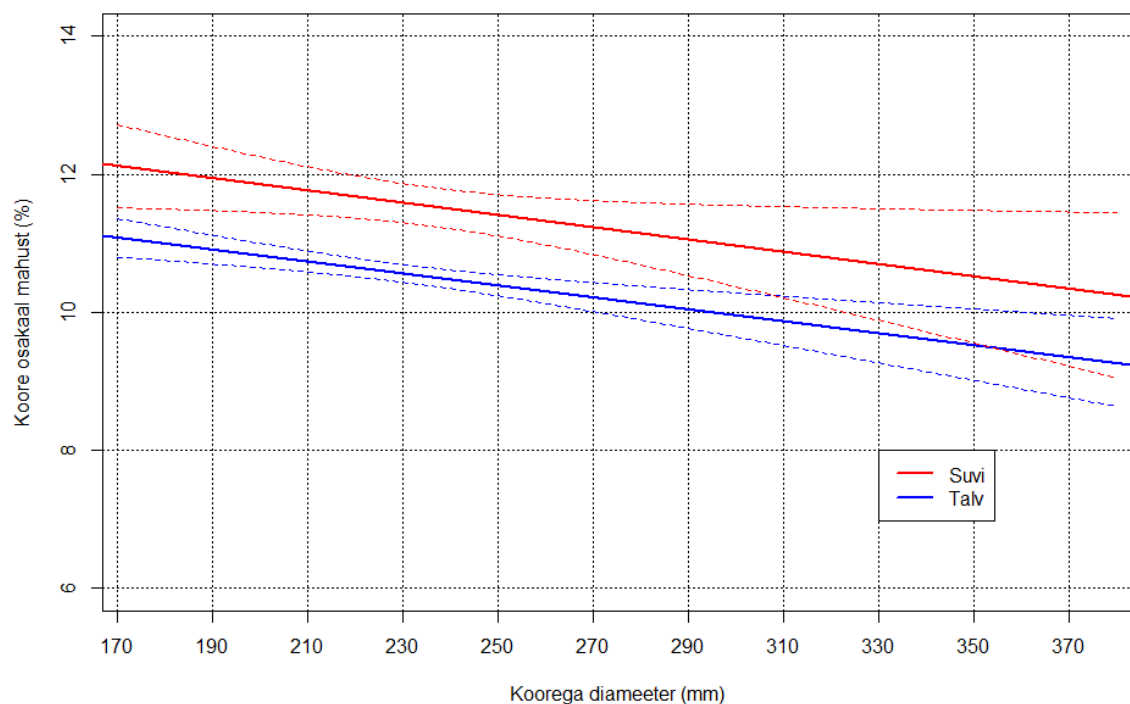
Jooniselt 2.13 on näha, et talviste ja suviste regressioonijoonete usalduspiirid ei kattu diameetrite vahemikus 180 – 330 mm. Koostatud mudelite järgi diameetrite suurenedes suureneb ka koorepaksuse erinevus. Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra kasvab koore paksus suvise mudeli põhjal 0,044 mm ja talvise mudeli järgi 0,040 mm. Pakkude keskmine kahekordne koore paksus koos 95% usalduspiiridega oli suvel $14,46 \pm 0,40$ mm ja talvel $12,88 \pm 0,18$ mm.

Sarnaselt koore paksusele, on ka koore osakaal diameetrist suvel suurem kui talvel (joonis 2.14). Talviste ja suviste regressioonijoonete usalduspiiride kattumine tekib alles 300 mm juures. Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra väheneb koore osakaal diameetrist suvise mudeli põhjal 0,0064% võrra ja talvise mudeli järgi 0,0062% võrra. Keskmine koore osakaal koos 95% usalduspiiridega oli suvel $6,16 \pm 0,16\%$ ja talvel $5,63 \pm 0,07\%$.



Joonis 2.14. Talviste ja suviste andmete põhjal koostatud koore osakaalu mudelite graafikud koos 95% usalduspiiridega.

Talviste ja suviste regressioonijoonte usalduspiiride kattumine tekib alles 300 mm juures (joonis 2.15). Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra väheneb koore osakaal mahust suvise mudeli põhjal 0,0089% võrra ja talvise mudeli järgi 0,0086% võrra. Keskmise koore osakaal mahust koos 95% usalduspiiridega oli suvel $11,53 \pm 0,28\%$ ja talvel $10,57 \pm 0,13\%$.



Joonis 2.15. Talviste ja suviste andmete põhjal koostatud koore osakaalu mudelite graafikud koos 95% usalduspiiridega.

Talvise ja suvise koore paksuse ja osakaalu erinevuse tõestamiseks teostati dispersioonanalüüs. Selleks kasutati võrrandikuju 1.4. Dispersioonanalüüsil leitud valemikonstantide väärtused ja olulisuse tõenäosused on esitatud tabelis 2.3.

Tabel 2.3. Dispersioonanalüüsi käigus leitud valemikonstantide väärtused ja olulisuse tõenäosused

Sõltuv muutuja (y)	Tähis	Kordaja	p-väärtus
Kahekordne koore paksus, mm	β_0	4,645	<0,001
	β_1	0,04156	<0,001
	β_2	-1,316	<0,001
Koore osakaal diameetrist, %	β_0	7,6275	<0,001
	β_1	-0,006235	<0,001
	β_2	-0,5645	<0,001
Koore osakaal mahust, %	β_0	13,5824	<0,001
	β_1	-0,008698	<0,001
	β_2	-1,0173	<0,001

Analüüs näitas, et aastaajast sõltuva konstandi β_2 olulisuse tõenäosus on alla 0,001. Seega saab väita, et koore paksus, koore osakaal diameetrist ja koore osakaal mahust sõltub

aastaajast. Dispersioonanalüüsi jääkidest koostati histogrammid, mis ei erinenud märkimisväärselt normaaljaotusest (lisad 13-15).

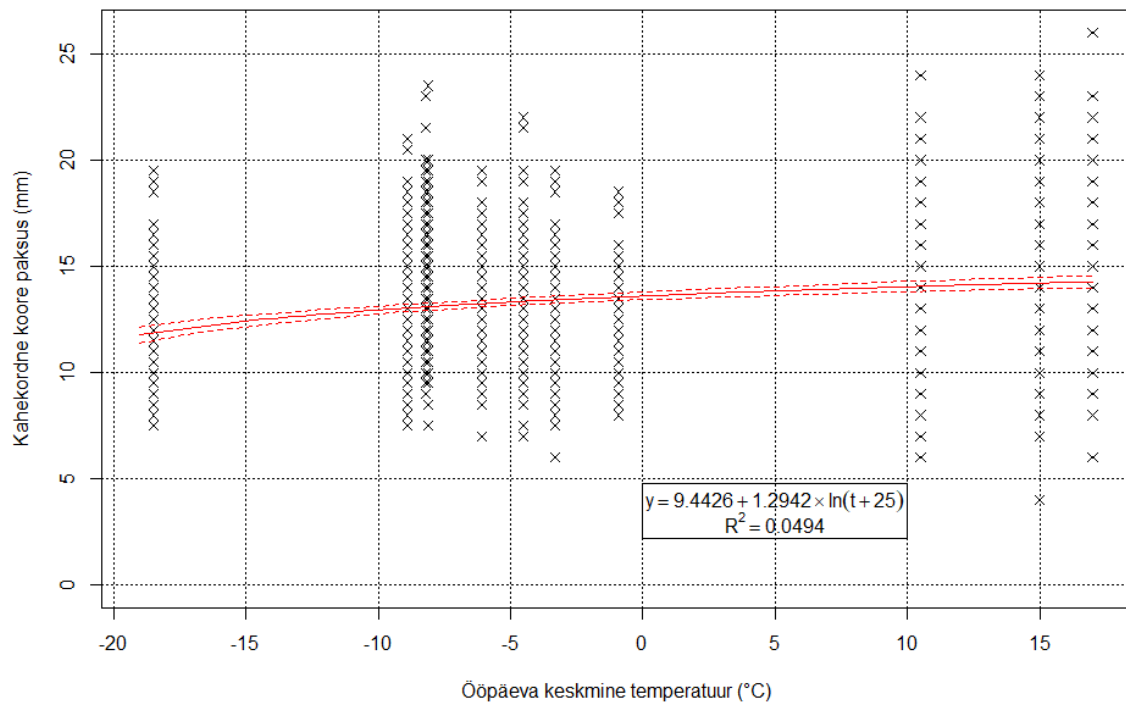
2.4. Koore paksuse ja osakaalu sõltuvus temperatuurist ja koorega diameetrist

Järgnevalt uuriti koore paksuse ja osakaalu sõltuvust ööpäeva keskmisest õhutemperatuurist ja koorega diameetrist. Koostati kolm regressioonivõrrandit, et kirjeldada kahekordse koore paksuse ja osakaalu (nii diameetrist kui mahust) sõltuvust ööpäevasest keskmisest õhutemperatuurist ja üks võrrand, mis kirjeldab kahekordse koore paksuse seost koorega diameetri ja ööpäeva keskmise õhutemperatuuriga. Seoseid õhutemperatuuriga sobis kõige paremini iseloomustama logaritmfunksioon (valem 1.3). Kahekordse koore paksuse seost koorega diameetriga ja õhutemperatuuriga osutus kõige paremini iseloomustama valem 1.5. Valemite parameetrid on ära toodud tabelis 2.4.

Tabel 2.4. Regressioonivalemite parameetrid

Sõltuv muutuja (y)	Statistilised parameetrid			Valemi kordajate väärtused		
	R ²	prognoosiviga	p-väärtus	β ₀	β ₁	β ₂
Kahekordne koore paksus, mm	0,04935	3,118	<2,2·10 ⁻¹⁶	9,4426	1,2942	-
Koore osakaal diameetrist, %	0,04953	1,237	<2,2·10 ⁻¹⁶	4,2386	0,5143	-
Koore osakaal mahust, %	0,05018	2,233	<2,2·10 ⁻¹⁶	8,0387	0,9349	-
Kahekordne koore paksus (temperatuurist ja diameetrist), mm	0,9578	2,809	<2,2·10 ⁻¹⁶	-	1,1970	0,04206

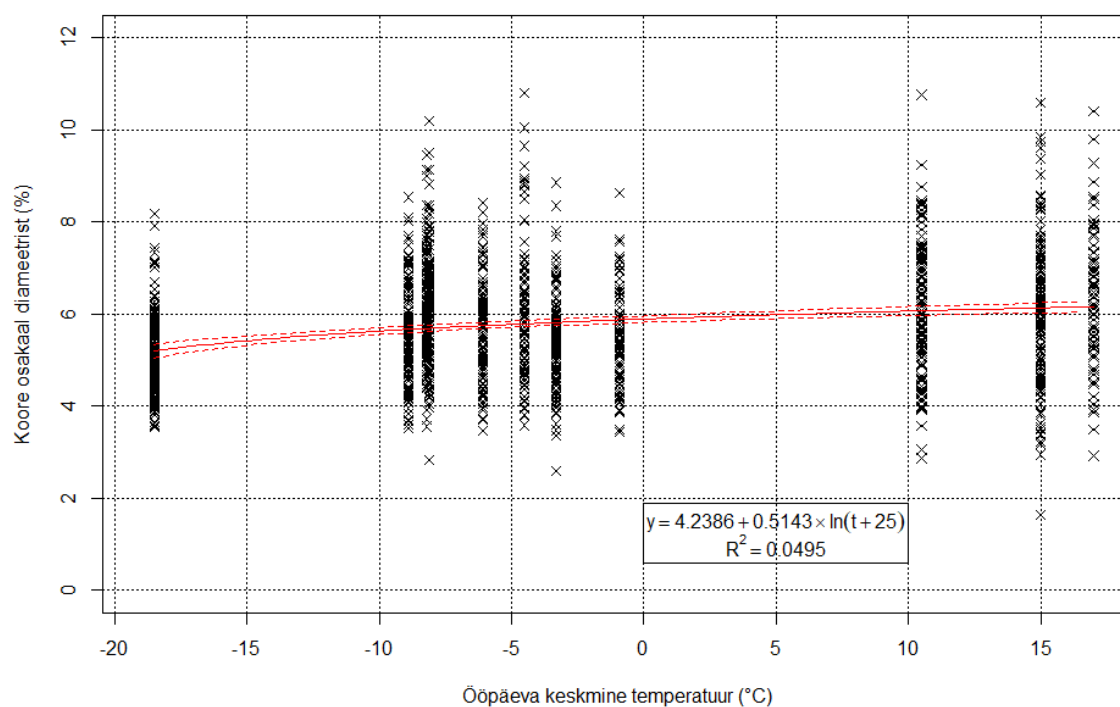
Analüüs näitas, et ööpäevase keskmise temperatuuri suurenedes suureneb ka kahekordne koore paksus (joonis 2.16).



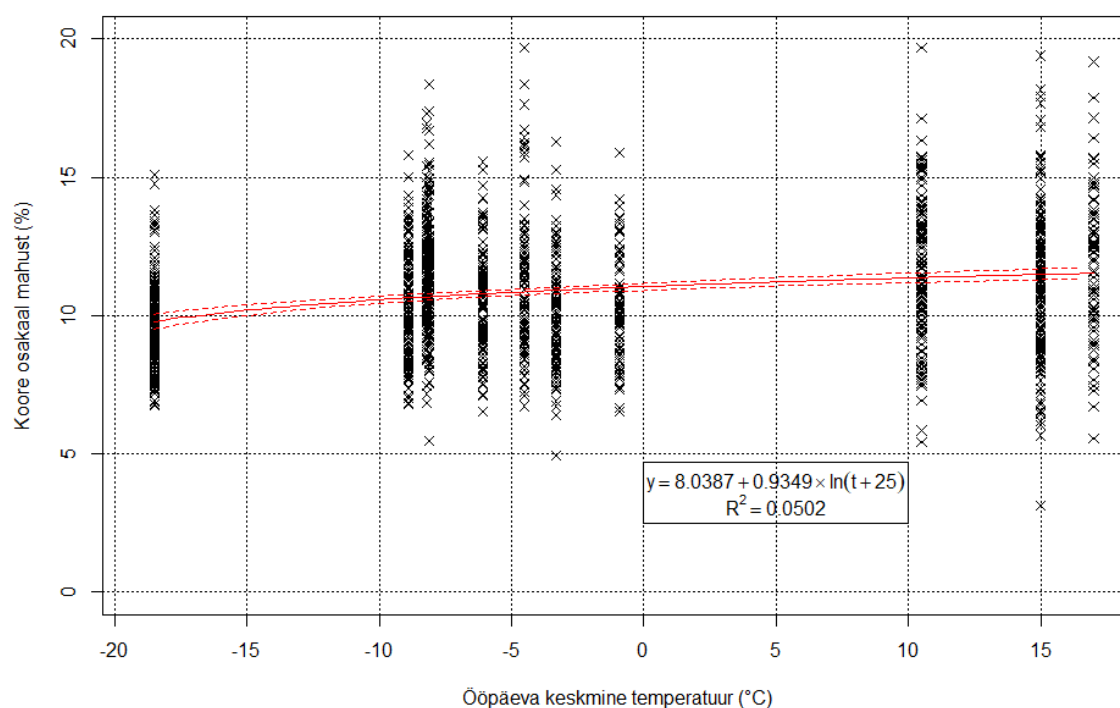
Joonis 2.16. Kahekordse koore paksuse ja temperatuuri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Õhutemperatuuri langedes hakkab kahekordse koore paksus märgatavalt vähenema. Muutus on suurem miinuskraadide juures. Keskmine koore paksus antud mudeli järgi on -18,5 °C juures 11,86 mm ja +17 °C juures 14,28 mm. Regressioonijääkidest koostati histogramm, mis näitab, et jääkide jaotumine sarnaneb normaaljaotusega (lisa 16).

Sarnaselt koore paksusele, hakkab ka koore osakaal nii diameetrist kui mahust järsemalt langema miinuskraadide juures (joonised 3.17 ja 3.18).



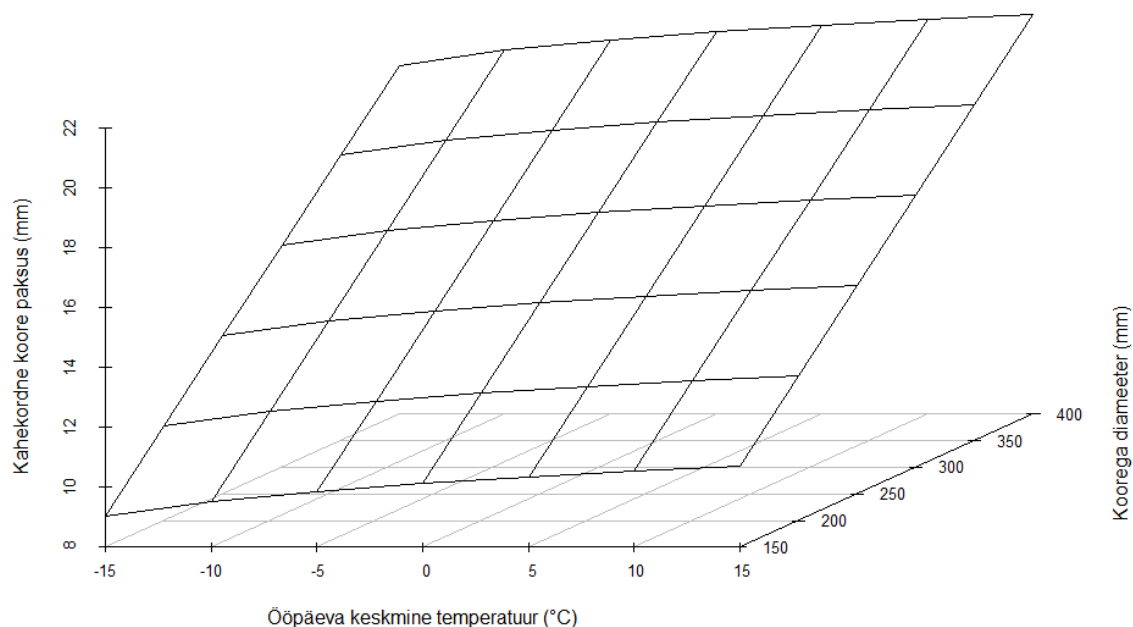
Joonis 2.17. Kore osakaalu diameetrist ja temperatuuri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.



Joonis 2.18. Kore osakaalu mahust ja temperatuuri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Antud mudelite järgi on tõus suurem miinuskraadidel, plusskraadide juures on koore osakaalu suurenemine väga väike. Keskmine koore osakaal diameetrist -18,5 °C juures on koostatud mudeli järgi 5,20% ja 17 °C juures 6,16%. Keskmine koore osakaal mahust on vastavalt 9,79% ja 11,53%. Regressioonijääkidest koostati histogrammid, mille järgi jääkide jaotumine sarnaneb normaaljaotusega (lisad 17 ja 18).

Eelnevalt selgus, et kahekordne koore paksus sõltub nii koorega diameetrist kui ka õhutemperatuurist. Et seost nende mõlema näitajaga kirjeldada, koostati kahe muutujaga regressioonivõrrand. Andmeanalüüsi käigus katsetati mitmeid võrrandikujusid, millest valiti parimate statistiliste näitajatega kuju. Regressioonianalüüsi tulemusena saadi valem: $d_{koor} = 1,1970 \cdot \ln(t + 25) + 0,04206 \cdot d$ (valem 1.5). Antud seos on kujutatud joonisel 2.19.



Joonis 2.19. Kahekordse koore paksuse seos koorega diameetri ja õhutemperatuuriga.

Antud mudel näitab, et õhutemperatuuri tõustes ja diameetri suurenedes kahekordne koore paksus suureneb. Koore paksuse muutumine temperatuuri muutumisel on järsem miinuskraadide juures. Samuti näitab mudel, et koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra, suureneb kahekordne koore paksus 0,042 mm. Õhutemperatuuri mõju koore paksusele on logaritmiline. Temperatuuri muutudes -15 °C-st kuni 0 °C-ni muutub koore paksus 1,10 mm võrra ehk keskmiselt 0,073 mm/K ja temperatuuri muutudes 0 °C-st kuni +15 °C-ni 0,56 mm võrra ehk keskmiselt 0,038 mm/K. Mudeli determinatsioonikordaja (R^2) on

0,9578, mis näitab väga tugevat seost antud näitajate vahel. Regressioonijääkidest koostati histogramm (lisa 19), mis sarnaneb normaaljaotusega.

2.5. Kooreparandite väärtused

Koostatud kahekordse koore paksuse valemite kaudu arvutati kooreparandite väärtused sanglepa vineeripakkudele ladvaotsa diameetriga 170 – 380 mm. Kuna talviste ja suviste koorepaksuste vahel oli oluline erinevus, siis arvutati eraldi kooreparandi väärtused talvisele ja suvistele perioodile. Talvised kooreparandi väärtused on esitatud tabelis 2.5. Antud parandusarvud on kõige usaldusväärsemad keskmise õhutemperatuuri vahemikus -18,5...-0,9 °C.

Tabel 2.5. Arvutatud koorepaksused talvisele ($t < 0$ °C) pakkudele

Koorega diameeter, mm	Arvutatud kahekordne koore paksus, mm	Koorega diameeter, mm	Arvutatud kahekordne koore paksus, mm
170	10.47	280	14.91
180	10.87	290	15.31
190	11.27	300	15.71
200	11.68	310	16.12
210	12.08	320	16.52
220	12.48	330	16.92
230	12.89	340	17.33
240	13.29	350	17.73
250	13.70	360	18.14
260	14.10	370	18.54
270	14.50	380	18.94

Suvised kooreparandi väärtused (tabel 2.6) on kõige usaldusväärsemad keskmise õhutemperatuuri vahemikus +10,5...+17,0 °C.

Tabel 2.6. Arvutatud koorepaksused suviste (t>0 °C) pakkudele

Koorega diameeter, mm	Arvutatud kahekordne koore paksus, mm	Koorega diameeter, mm	Arvutatud kahekordne koore paksus, mm
170	11.53	280	16.40
180	11.97	290	16.84
190	12.42	300	17.28
200	12.86	310	17.73
210	13.30	320	18.17
220	13.74	330	18.61
230	14.19	340	19.05
240	14.63	350	19.50
250	15.07	360	19.94
260	15.51	370	20.38
270	15.96	380	20.82

Kahekordse koore paksuse väärtused diameetrite kaupa talvistele ja suvistele pakkudele arvutati ka 1 mm sammuga (lisad 20 ja 21). Koostatud koore paksuse valemi järgi (valem 1.5) arvutati koore paksused vastavalt diameetrile ja ööpäeva keskmisele õhutemperatuurile (tabel 2.7).

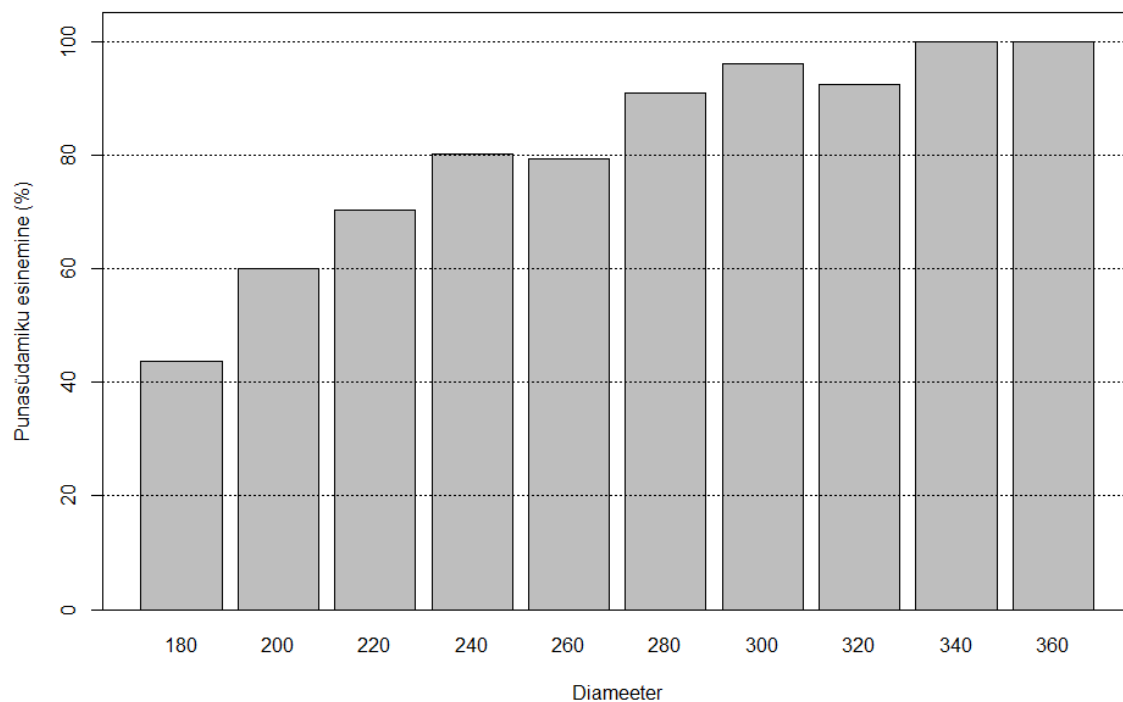
Tabel 2.7. Arvutatud koore paksused vastavalt diameetrile ja õhutemperatuurile

		Ööpäeva keskmine õhutemperatuur, °C						
		-15	-10	-5	0	5	10	15
Koorega diameeter, mm	170	9.91	10.39	10.74	11.00	11.22	11.41	11.57
	180	10.33	10.81	11.16	11.42	11.64	11.83	11.99
	190	10.75	11.23	11.58	11.84	12.06	12.25	12.41
	200	11.17	11.65	12.00	12.27	12.48	12.67	12.83
	210	11.59	12.07	12.42	12.69	12.90	13.09	13.25
	220	12.01	12.49	12.84	13.11	13.32	13.51	13.67
	230	12.43	12.92	13.26	13.53	13.75	13.93	14.09
	240	12.85	13.34	13.68	13.95	14.17	14.35	14.51
	250	13.27	13.76	14.10	14.37	14.59	14.77	14.93
	260	13.69	14.18	14.52	14.79	15.01	15.19	15.35
	270	14.11	14.60	14.94	15.21	15.43	15.61	15.77
	280	14.53	15.02	15.36	15.63	15.85	16.03	16.19
	290	14.95	15.44	15.78	16.05	16.27	16.45	16.61
	300	15.37	15.86	16.20	16.47	16.69	16.87	17.03
	310	15.79	16.28	16.62	16.89	17.11	17.29	17.45
	320	16.22	16.70	17.05	17.31	17.53	17.72	17.87
	330	16.64	17.12	17.47	17.73	17.95	18.14	18.30
	340	17.06	17.54	17.89	18.15	18.37	18.56	18.72
	350	17.48	17.96	18.31	18.57	18.79	18.98	19.14
	360	17.90	18.38	18.73	18.99	19.21	19.40	19.56
	370	18.32	18.80	19.15	19.42	19.63	19.82	19.98
	380	18.74	19.22	19.57	19.84	20.05	20.24	20.40

Nagu tabelist näha, suureneb kahekordne koore paksus temperatuuri tõustes ning diameetri suurenedes. Praktikas võib kasutada talvisel ja suvisel ajal eraldi mudelit (tabelid 2.5 ja 2.6, lisad 20 ja 21). Täpsemaks kooreparandi arvutamiseks on soovitatav kasutada valemit $d_{koor} = 1,1970 \cdot \ln(t + 25) + 0,04206 \cdot d$ (tabel 2.7). Viimase miinuseks on arvutusalgoritmi uue temperatuuri sisestamine, mida peaks tegema peaaegu iga päev.

2.6. Punasüdamiku analüüs

Mõõdetud pakkudest olid punasüdamikuga 71,88%. Punasüdamiku esinemissagedus oli suurem suurema diameetriga pakkudel (joonis 2.20). Diameetrite vahemikus 170-190 mm olid punasüdamikuga 43,59% pakkudest, samas pakud diameetriga 330-370 olid kõik punasüdamikuga.



Joonis 2.20. Punasüdamiku esinemistõenäosus diameetrite lõikes.

Järgnevalt uuriti, kas punasüdamikuga pakkudel sõltub punasüdamiku osakaal paku diameetrist. Erinevate mudelite võrdlemine näitas, et argumenttunnuse lisamine mudelit paremaks ei muuda, seega jäi parimaks nullmudel (joonis 2.21).



Joonis 2.21. Punasüdamiku osakaalu diameetrist ja paku diameetri vaheline seos koos 95% usalduspiiridega.

Punasüdamik moodustas keskmiselt 40.69% paku kooreta diameetrist sõltumata paku diameetri suurusest. Samas viitab see sellele, et paku diameetri suurenedes punasüdamiku osakaal mahust väheneb. Kui võtta arvesse ka ilma punasüdamikuta pakud, siis moodustas punasüdamik keskmiselt 29,25% paku diameetrist ja 15,54% paku mahust.

3. ARUTELU

Sanglepa vineeripakkude koore paksuse seost paku diameetriga osutus kõige paremini kirjeldama lineaarne võrrandi kuju ($y = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$). Lineaarsed valemid on kasutuses ka Rootsi ja Läti saetööstustes männi- ja kuusepalkide koore paksuse leidmiseks (SDC's instructions... 2014; Miklaševičs 2017). Smith ja Kozak (1967 ref Bowyer jt 2003) on koostanud lineaarsed regressioonivalemid erinevatele Kanada puuliikidele. Muuhulgas on nad koostanud valemi punase lepa (*Alnus rubra*) kahekordse koore paksuse arvutamiseks ($y = 3,9624 + 0,044 \cdot d$), mis on väga sarnane antud töös koostatud sanglepa suvise kahekordse koore paksuse valemiga ($y = 4,0106 + 0,0442 \cdot d$).

Antud töös tuli välja, et paku diameetri suurenedes koore osakaal diameetrist vähenes. Sarnane tendents tuli välja ka J. Liepiņš'i ja K. Liepiņš'i (2015) erinevate puuliikide kohta tehtud uurimuses ning Sonmez jt (2007) poolt läbi viidud uurimustöös. Käesoleva töö tulemused näitasid ka, et paku diameetri suurenedes väheneb ka koore osakaal mahust.

Sanglepa koore mahu kohta esineb kirjanduses erinevaid andmeid. Raamatus „Metsatakseerimine” (Vaus 2005) on ära toodud, et sanglepa ja halli lepa keskmine suhteline koore maht peaks jääma 12% lähedale. M. M. Orlovi (Орлов 1931 ref Krigul 1969) järgi on lepa (liik täpsustamata) koore maht tüvemahust 8%. Käesolevas töös oli keskmine koore osakaal mahust oli suvel 11,53% ja talvel 10,57%. Siin peab aga silmas pidama, et vineeripakk on võetud eelkõige puu alaosast. Puu ülaosas on aga koore osakaal suurem (Laasasenaho jt 2005; Liepiņš J., Liepiņš K. 2015). See viitab sellele, et kogu puutüve koore mahu osakaal on suurem, kui antud töös saadud tulemus. Seega võib väita, et käesoleva töö tulemus on kooskõlas Vausi (2005) andmetega.

Antud uurimus näitas, et õhutemperatuuri langedes alla nulli, hakkas koore paksus järsult langema. Seda kinnitab, ka Zweifel'i ja Häsler'i (2000) tehtud uurimus, kus leiti, et koore paksus väheneb järsult peale õhutemperatuuri langemist alla -5 °C. Kahekordse koore paksuse vähenemine miinuskraadide juures on välja tulnud ka kase (*Betula* spp.) kohta tehtud uurimuses (Lilienthal 2017). Käesoleva töö tulemusel tuli küll välja kirjanduse andmetega sarnane tendents, kuid kuna andmed ei olnud jaotunud kogu temperatuuri vahemikus ühtlaselt, tuleks täpsemate tulemuste saamiseks antud teemat veel uurida.

Tulemused näitasid, et koore paksus sõltub diameetrist ja õhutemperatuurist. Samas sõltub koore paksus veel mitmetest teguritest. Oluline roll on kasvukoha tingimustel, millel on suur mõju puude kasvule ja koore paksusele, samuti on olulise tähtsusega puu vanus (Stängle jt 2016). Parema tulemuse on andnud ka puu kõrguse kasutamine mudelis koore osakaalu leidmiseks (Liepiņš J., Liepiņš K. 2015). Neid tegureid on aga ümarmaterjali mahu arvestamisel keeruline arvestada, nii on ka varasemates uurimustes koore paksuse arvestamisel võetud aluseks otseselt mõõdetavad näitajad nagu koorega diameeter ja õhutemperatuur (Taremaa 2011; Lilienthal 2017).

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli uurida sanglepa koore paksuse seost koorega diameetri ja õhutemperatuuriga ning luua kooreparandid sanglepa vineeripakkudele. Lisaks uuriti punasüdamikku esinemist ja selle osakaalu. Töös koostati regressioonivalemid, mille abil on võimalik paku koorega diameetri kaudu arvutada kahekordse koore paksust, koore osakaalu diameetrist, kooreta diameetrit, koore mahtu, koore osakaalu mahust ja kooreta mahtu. Antud valemid koostati eraldi suvisele ja talvisele perioodile. Lisaks koostati valem, millega saab kahekordset koore paksust arvutada koorega diameetri ja temperatuuri kaudu.

Regressioonanalüüsi käigus võrreldi erinevaid võrrandikujusid, millest sobisid uuritud seoseid kõige paremini kirjeldama sirge, ruutparabool ja logaritmfunksioon. Sirge sobis kirjeldama koorega diameetri seost kahekordse koore paksusega, koore osakaaluga (nii diameetrist kui mahust) ja kooreta diameetriga. Ruutparabool sobis kirjeldama koorega diameetri seost koore mahuga ja paku kooreta mahuga. Ööpäeva keskmise õhutemperatuuri seost koore paksuse ja osakaaluga kirjeldas kõige paremini logaritmfunksioon.

Tulemustest selgus, et suvel on koore paksus ja osakaal oluliselt suurem kui talvel. Pakkude keskmine kahekordne koore paksus oli suvel $14,46 \pm 0,40$ mm ja talvel $12,88 \pm 0,18$ mm. Keskmine koore osakaal diameetrist oli suvel $6,16 \pm 0,16\%$ ja talvel $5,63 \pm 0,07\%$ ning mahust vastavalt $11,53 \pm 0,28\%$ ja $10,57 \pm 0,13\%$. Analüüs näitas, et koore paksus suureneb õhutemperatuuri tõustes ja paku diameetri suurenedes ning antud seost saab kirjeldada valemiga $d_{koor} = 1,1970 \cdot \ln(t + 25) + 0,04206 \cdot d$. Koorega diameetri suurenedes 1 mm võrra, suureneb kahekordne koore paksus 0,042 mm. Õhutemperatuuri mõju koore paksusele on logaritmiline. Temperatuuri muutudes -15 °C -st kuni 0 °C -ni muutub koore koore paksus 1,10 mm võrra ehk keskmiselt $0,073\text{ mm/K}$ ja temperatuuri muutudes 0 °C -st kuni $+15\text{ °C}$ -ni $0,56\text{ mm}$ võrra ehk keskmiselt $0,038\text{ mm/K}$.

Antud töös uuriti ka punasüdamiku esinemist sanglepa pakkudel ning selle osakaalu. Mõõdetud pakkudest olid punasüdamikuga 71,88%. Punasüdamiku esinemissagedus oli suurem suurema diameetriga pakkudel. Punasüdamik moodustas keskmiselt 29,25% paku diameetrist ja 15,54% mahust.

Koostatud koore paksuse valemite kaudu arvutati kooreparandite väärtused sanglepa vineeripakkudele diameetriga 170 – 380 mm. Kooreparandid arvutati eraldi talvisele ($t < 0$ °C) ja suvisele ($t > 0$ °C) perioodile. Lisaks arvutati kooreparandite väärtused vastavalt ööpäevasele keskmisele õhutemperatuurile. Koostatud kooreparandeid ja koore paksusega seotud valemid on võimalik kasutada erinevates sanglepa ümarpuiduga tegelevates ettevõtetes materjali kooreta mahu määramisel.

Antud töö kinnitas, et koore paksus sõltub õhutemperatuurist. Kuna andmeid ei olnud mõõdetud õhutemperatuuri vahemikes kuni -19 °C, -18...-9 °C, 0...+9 °C ja üle +17 °C, siis võiks tulevikus koguda andmeid ka nendel temperatuuridel ning täpsustada koore paksuse ja temperatuuri vahelist seost.

KASUTATUD KIRJANDUS

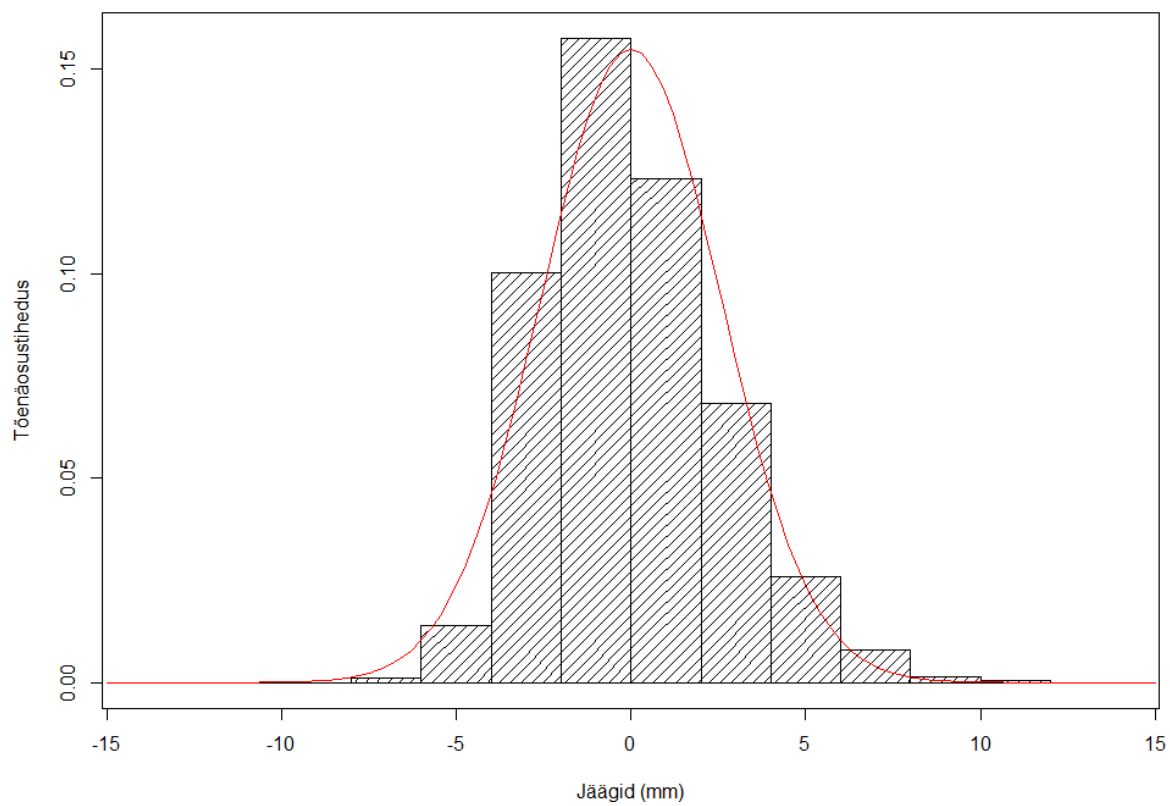
- Améglio, T., Cochard, H., Ewers, F.E.** (2001). Stem diameter variations and cold hardiness in walnut trees. – *Journal of Experimental Botany*, Vol. 52, Issue 364, pp. 2135–2142.
- Crawley, M.J.** (2007). The R Book. John Wiley & Sons LTD. 942 lk.
- Gall, R., Landolt, W., Schleppi, P., Michellod, V., Buscher, J.B.** (2002). Water content and bark thickness of Norway spruce (*Picea abies*) stems: phloem water capacitance and xylem sap flow. – *Tree Physiology*, Vol. 22, pp. 613–623.
- Jänes, J.** (2001). Ümarpuidu mõõtmine ja hindamine. Tartu. 28 lk.
- Kiviste, A.** (2007). Matemaatiline statistika *MS Exceli* keskkonnas. Tartu. 86 lk.
- * **Kohava, P.** 1997. Eesti okaspuupalkide koore mahust. Tallinn: Eesti Metsakorralduskeskus. 32 lk, viidatud: Vaus, M. 2005. Metsatakseerimine. Tartu: OÜ Halo Kirjastus. lk 31 vahendusel.
- Kukk, J.** (2015). Eesti mehaanilise puidutööstuse jäätmete kasutuse analüüs. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 82 lk.
- Kriipsalu, M., Luik, A., Peetsmann, E.** (2016). Abiks väiketootjale: komposti valmistamine. Eesti Maaülikool. 27 lk.
- Küsitluse kokkuvõte puidutööstusettevõtetes kasutatavate mõõtmiste tehniliste lahenduste osas. (2011). Puidumõõtmise Ümarlaud.
http://puidumootmine.emu.ee/sites/default/files/Kusitluse%20kokkuvote_puidutoostusettevotetes%20kasutatavate%20mootmistehnilised%20lahendused_2011.doc (04.04.2018).
- Laasasenaho, J., Melkas, T., Alden, S.** (2005). Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curves. – *Forest Ecology and Management*, Vol. 206, pp. 35–47.
- Laas, E.** (1987). Dendroloogia. Tallinn: Valgus. 824 lk.
- Liepiņš J., Liepiņš K.** (2015). Evaluation of bark volume of four tree species in Latvia. – *Research for Rural Development*, Vol. 2, pp. 22–28.
- Lilienthal, S.** (2017). Kase (*Betula* spp.) kooreparandi uurimine Tarmeko Spoon AS näitel. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 57 lk.
- Loris K., Havranek W.M., Wieser G.** (1999). The ecological significance of thickness changes in stem, branches and twigs of *Pinus cembra* L. during winter. – *Phyton*, Vol. 39 (4), pp. 117–122.
- Marshall, H.D., Murphy, G.E., Lachenbruch, B.** (2006). Effects of bark thickness estimates on optimal log merchandising. – *Forest Products Journal*, Vol. 56 (11/12), pp. 87–92.
- Miklaševičs, Z.** (2017). The analysis of coniferous logs top diameter measurement accuracy using harvester and 3D systems. – *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II* –

- Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, Vol. 10 (59 Part 1 Special issue), pp. 35-42.
- Muiste, P., Padari, A., Roostalu, H., Kriipsalu, M., Astover, A., Mitt, R., Pärn, L., Melts, I.** (2007). Eestis olemasoleva, praeguse või juba kavandatud tootmise-tarbimise juures tekkiva biomassi ressursi hindamine. Tartu: Maaelu Edendamise Sihtasutus. 88 lk.
- * **Nurmi, J.** (1993). Heating values of whole-tree biomass in young forests in Finland. – *Acta Forestalia Fennica* 236, p. 27+3, viidatud: Vares, V., Kask, Ü., Muiste P., Pihu, T., Soosaar, S. 2005. Biokütuse kasutaja käsiraamat. TTÜ kirjastus, lk 31 vahendusel.
- Raudsaar, M., Sims, A., Timmusk, T., Pärt, E., Nikopensius M.** (2017). Metsavarud. – *Aastaraamat Mets 2016*. Tallinn: Keskkonnaagentuur, lk 18-81.
- Rehepapp, L.** (2013). Multš päästab umbrohist ja loob silmailu. – *Põllumajandus.ee*. <http://www.pollumajandus.ee/uudised/2013/05/11/mults-paastab-umbrohist-ja-loob-silmailu> (06.04.2018).
- Saarman, E., Veibri, U.** (2006). Puiduteadus. Tartu: Eesti Metsaselts. 560 lk.
- SDC's instructions for timber measurement: measurement of log volume under bark. (2014). SDC. 21 lk. <https://sdc.se/admin/Filer/Nya%20m%C3%A4tningsinstruktioner%202014/SDCs%20instruktioner%20-%20Measurement%20of%20log%20volume.pdf> (05.05.2018).
- Sims, A., Kiviste, A.** (2011). Statistiline analüüs R keskkonnas metsanduslike näidetega. Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 66 lk.
- * **Smith, J.H.G., Kozak, A.** (1967). Thickness and percentage of bark of the commercial trees of British Columbia, viidatud: Bowyer, J.L., Shmulsky, R., Haygreen, J.G., 2003. Forest Products and Wood Science: An Introduction. 4th ed. Iowa State Press, Ames, IA lk 159 vahendusel.
- Sonmez, T., Keles, S., Tilki, F.** (2007). Effect of aspect, tree age and tree diameter on bark thickness of *Picea orientalis*. – *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 22, pp. 193-197.
- Stängle, S.M., Sauter, U.H., Dormann, C.F.** (2016). Comparison of models for estimating bark thickness of *Picea abies* in southwest Germany: the role of tree, stand, and environmental factors. – *Annals of Forest Science*, Vol. 74, pp. 1-10.
- Taremaa, T.** (2011). Kooreparandi koostamine okaspuu palkidele. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 30 lk.
- Vaatlusandmed. – *Riigi Ilmateenistus*. <https://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/oopaevaandmed/> (12.03.2018)
- Valgepea, M., Sims, A., Raudsaar, M.** (2017). Raied. – *Aastaraamat Mets 2016*. Tallinn: Keskkonnaagentuur, lk 106-137.
- Vaus, M.** (2005). Metsatakseerimine. Tartu: OÜ Halo Kirjastus. 178 lk.

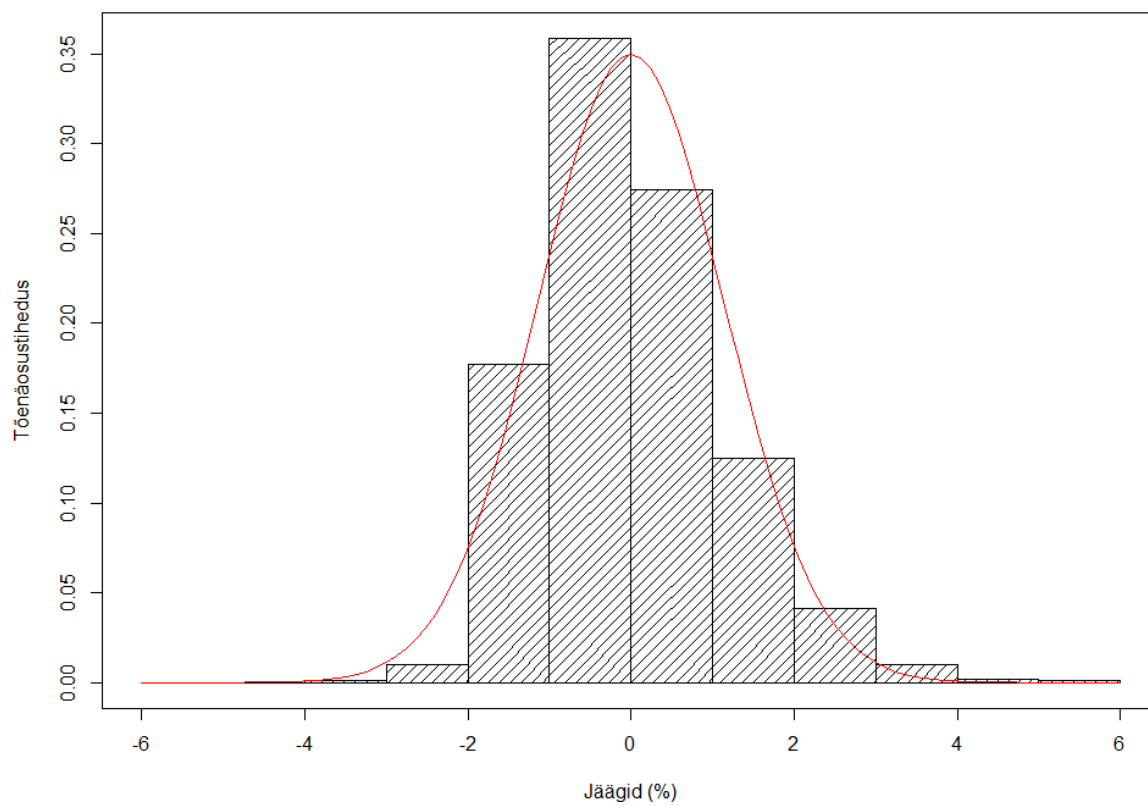
- Veski, R., Palu, V., Joa, K., Kruusement, K., Luik, H.** (2005). Puukoor kui võimalik keemiatööstuse toore vedelkütuste ja kemikaalide saamiseks.- *Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine: kuuenda konverentsi kogumik*. Tartu: Halo Kirjastus. lk 119-131.
- * **Zacco P.** (1974). The bark thickness of saw logs. Report no. R 90. Swedish Royal College of Forestry, Department of Wood Technology, viidatud: SDC's instructions for timber measurement: measurement of log volume under bark. (2014). SDC. lk 16 vahendusel.
<https://sdc.se/admin/Filer/Nya%20m%C3%A4tningsinstruktioner%202014/SDCs%20instructions%20-%20Measurement%20of%20log%20volume.pdf> (05.05.2018).
- Zweifel, R., Häsler, R.** (2000). Frost-induced reversible shrinkage of bark of mature subalpine conifers. – *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 102, pp. 213–222.
- * **Орлов М.М.** (1931). Лесная вспомогательная книжка. Ленинград, viidatud: Krigul, T., 1969. Metsataksaatori teatmik. Tartu, lk 39 vahendusel.

LISAD

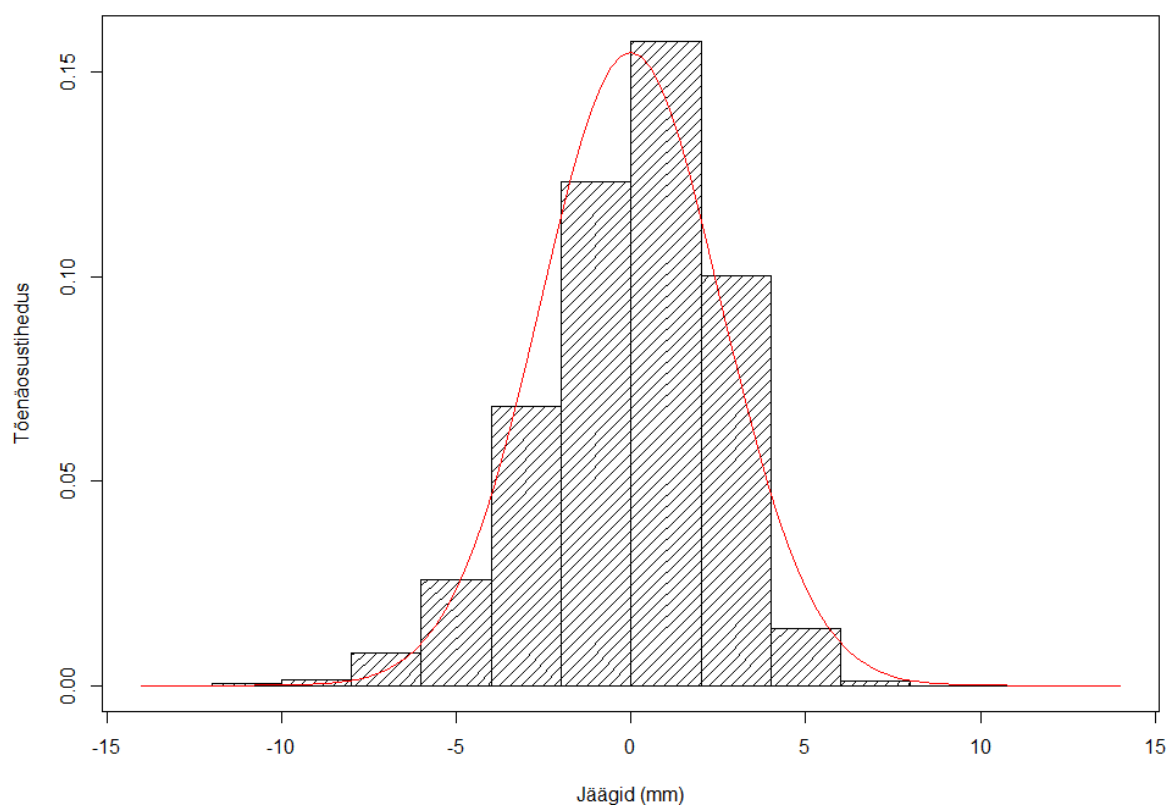
Lisa 1. Kahekordse koore paksuse ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)



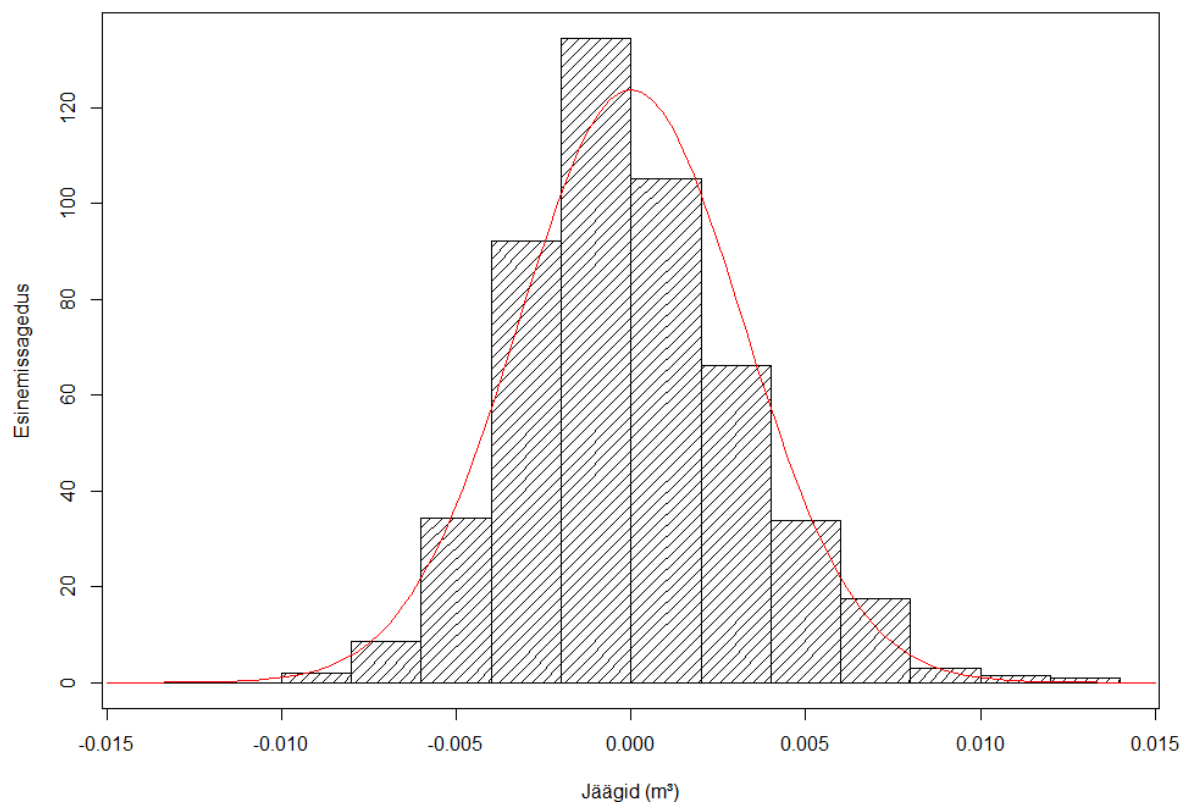
Lisa 2. Koore osakaalu diameetrist ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)



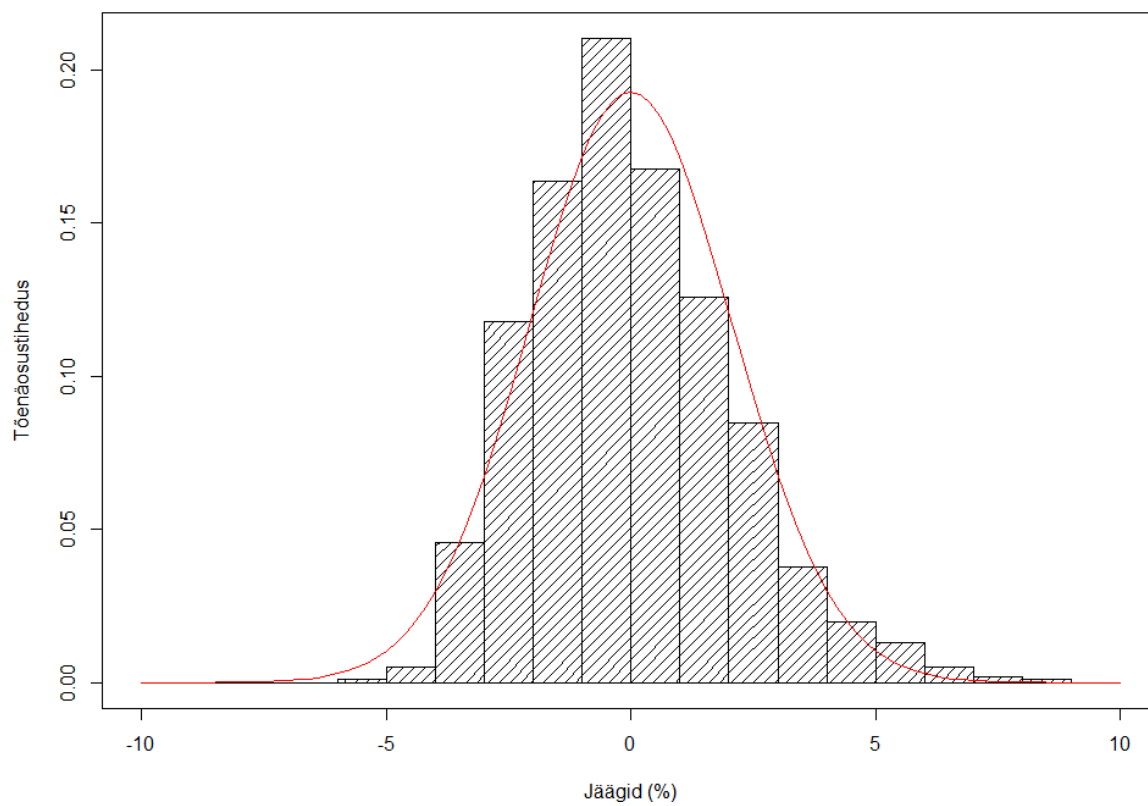
Lisa 3. Kooreta ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)



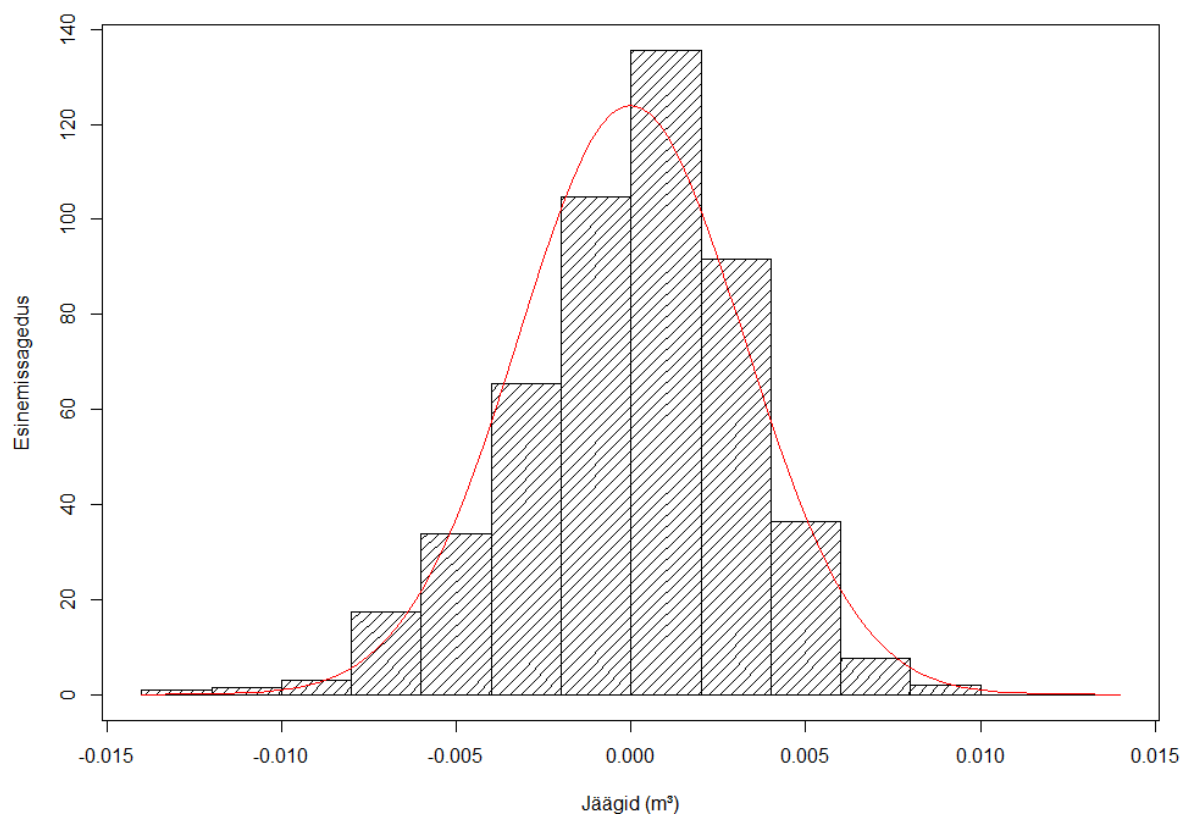
Lisa 4. Koore mahu ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)



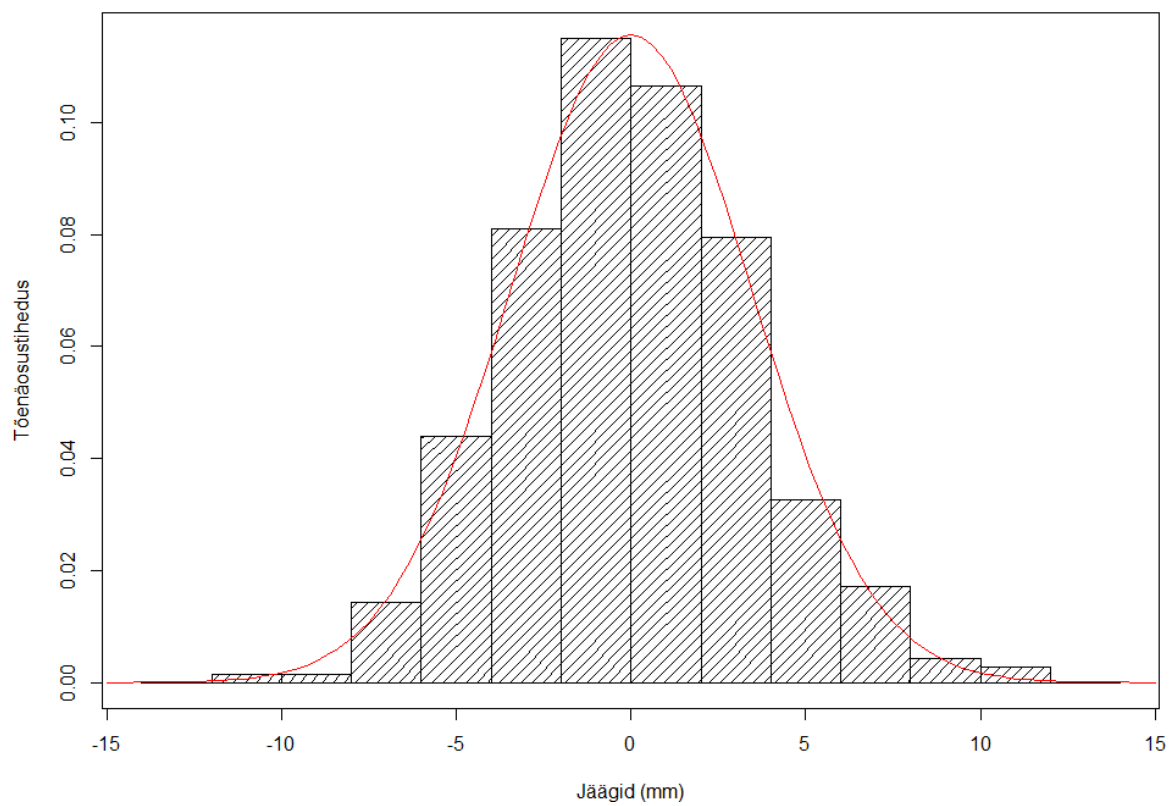
**Lisa 5. Koore osakaalu mahust ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid
koos normaaljaotuse joonega (talv)**



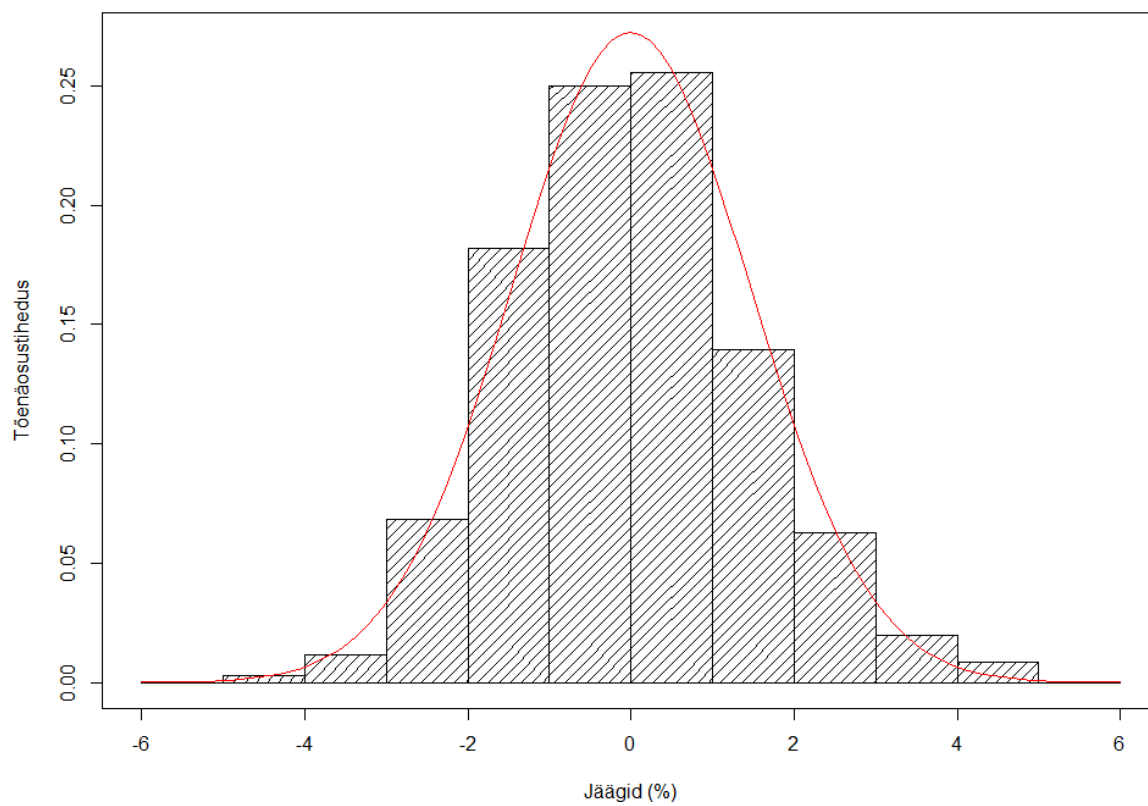
Lisa 6. Kooreta mahu ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (talv)



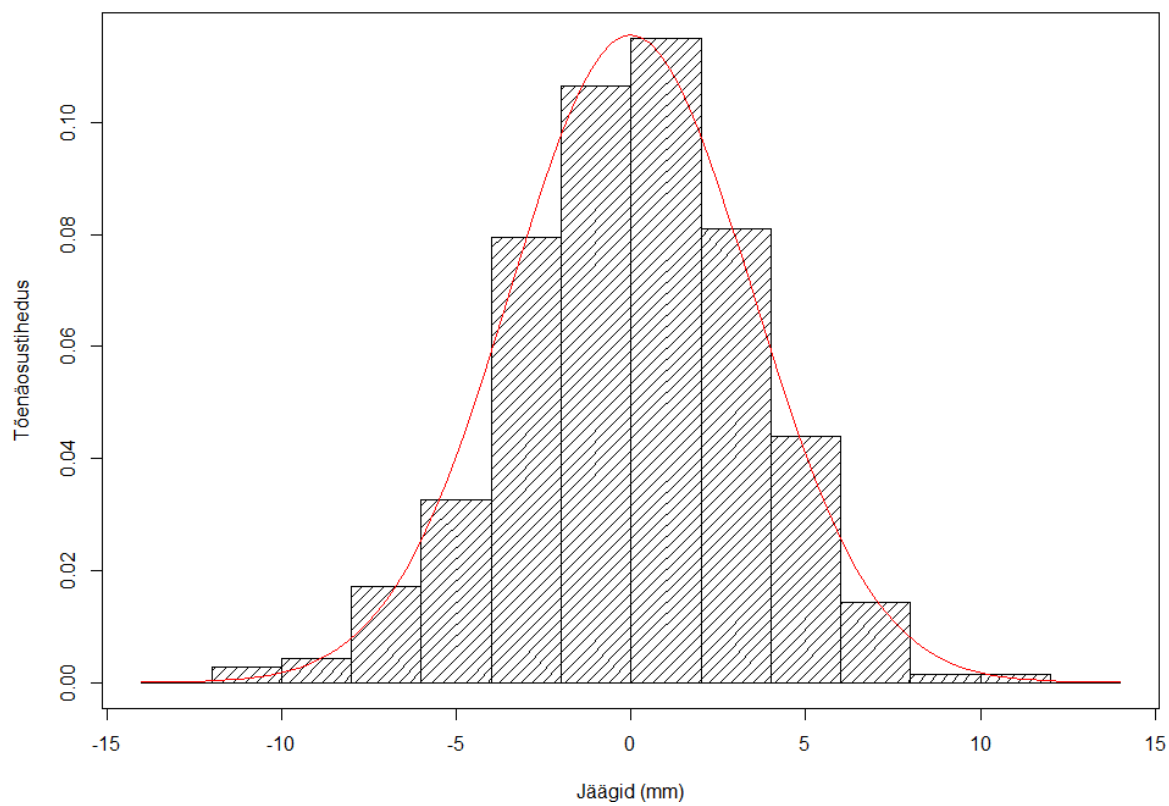
Lisa 7. Kahekordse koore paksuse ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)



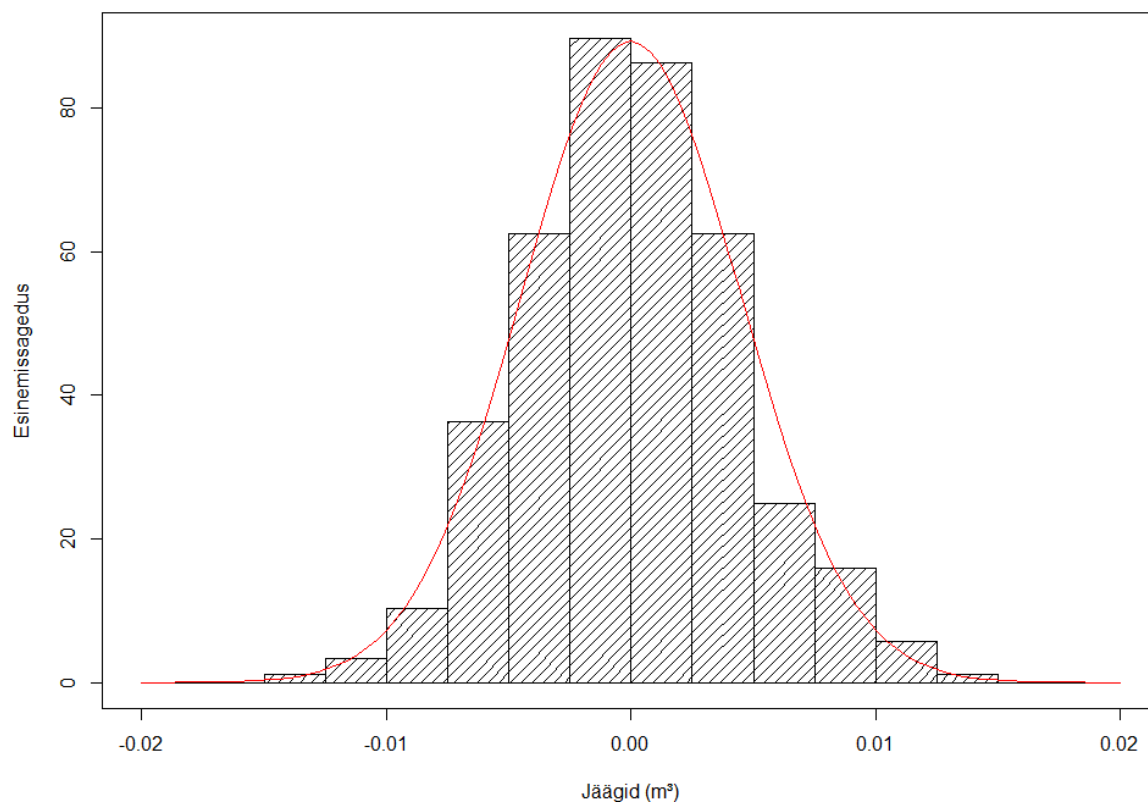
Lisa 8. Koore osakaalu diameetrist ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)



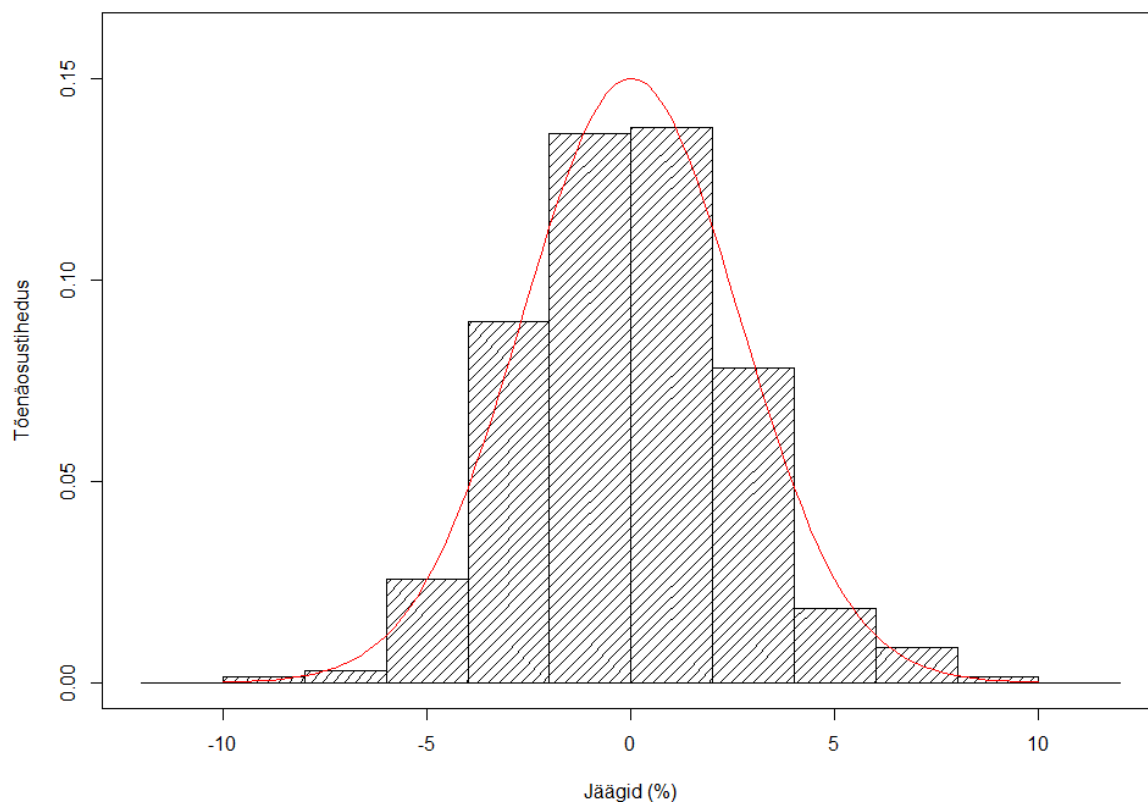
Lisa 9. Kooreta ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)



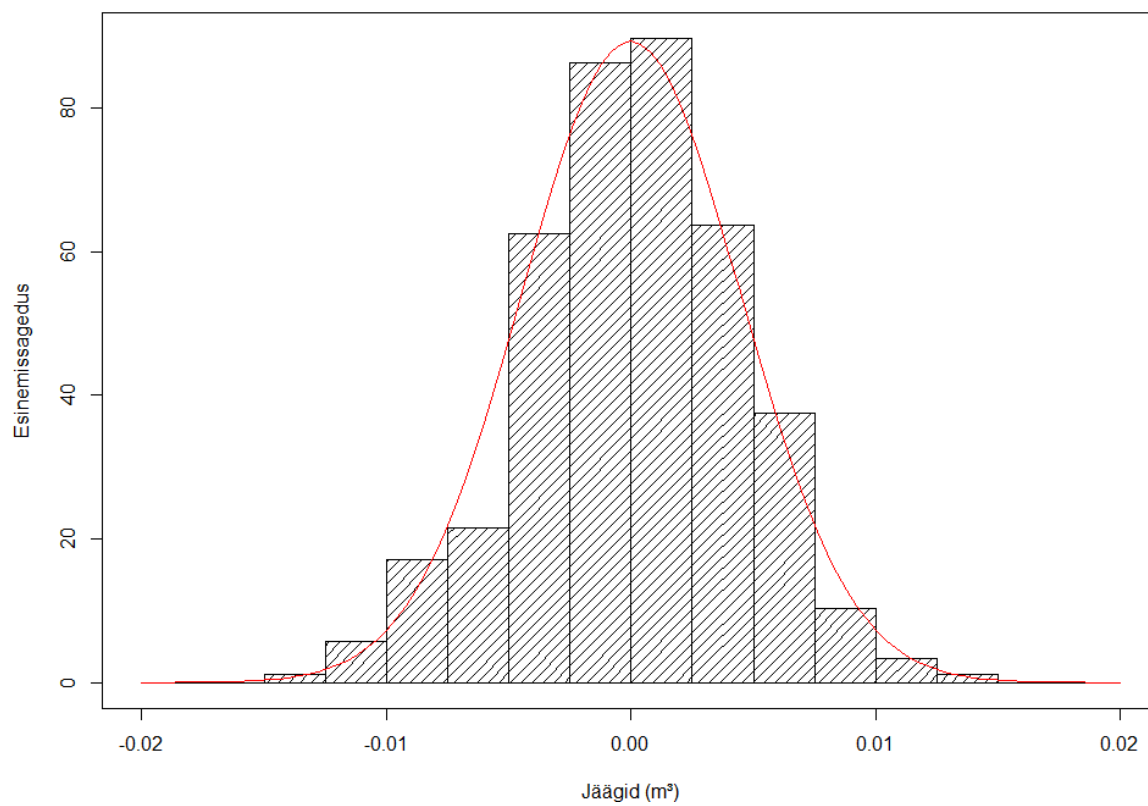
Lisa 10. Koore mahu ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)



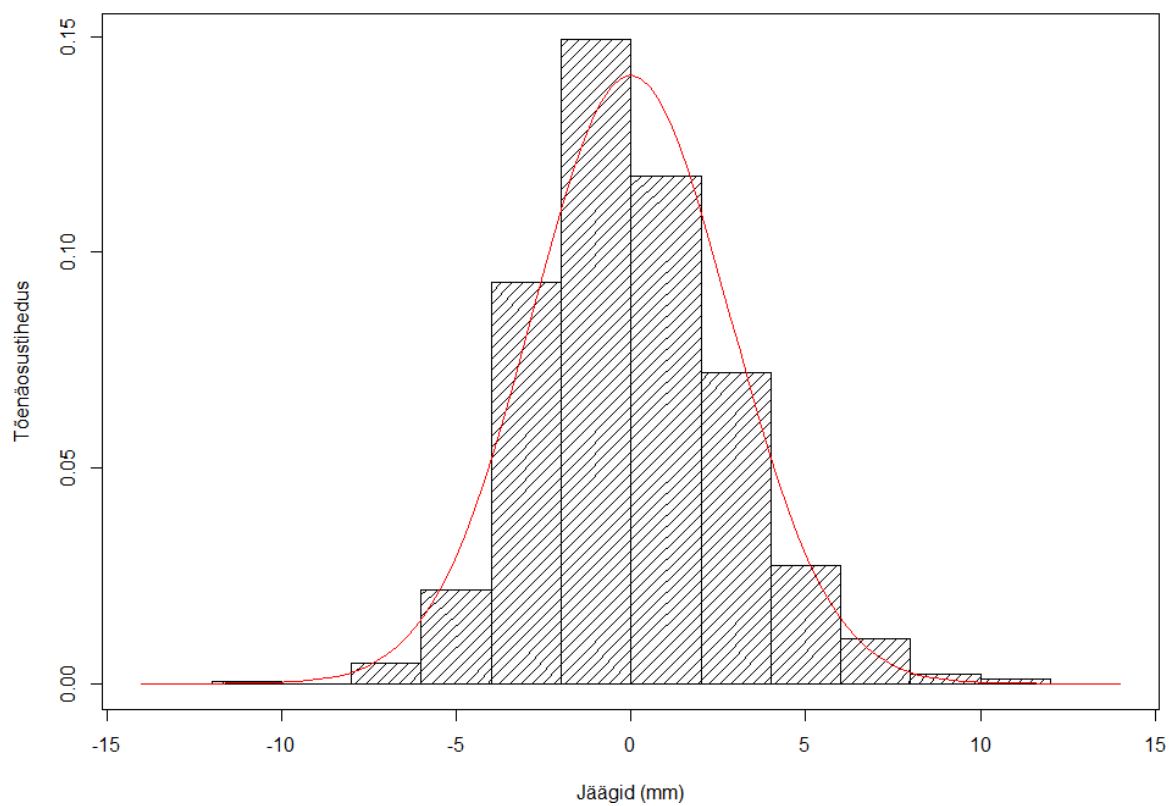
Lisa 11. Koore osakaalu mahust ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)



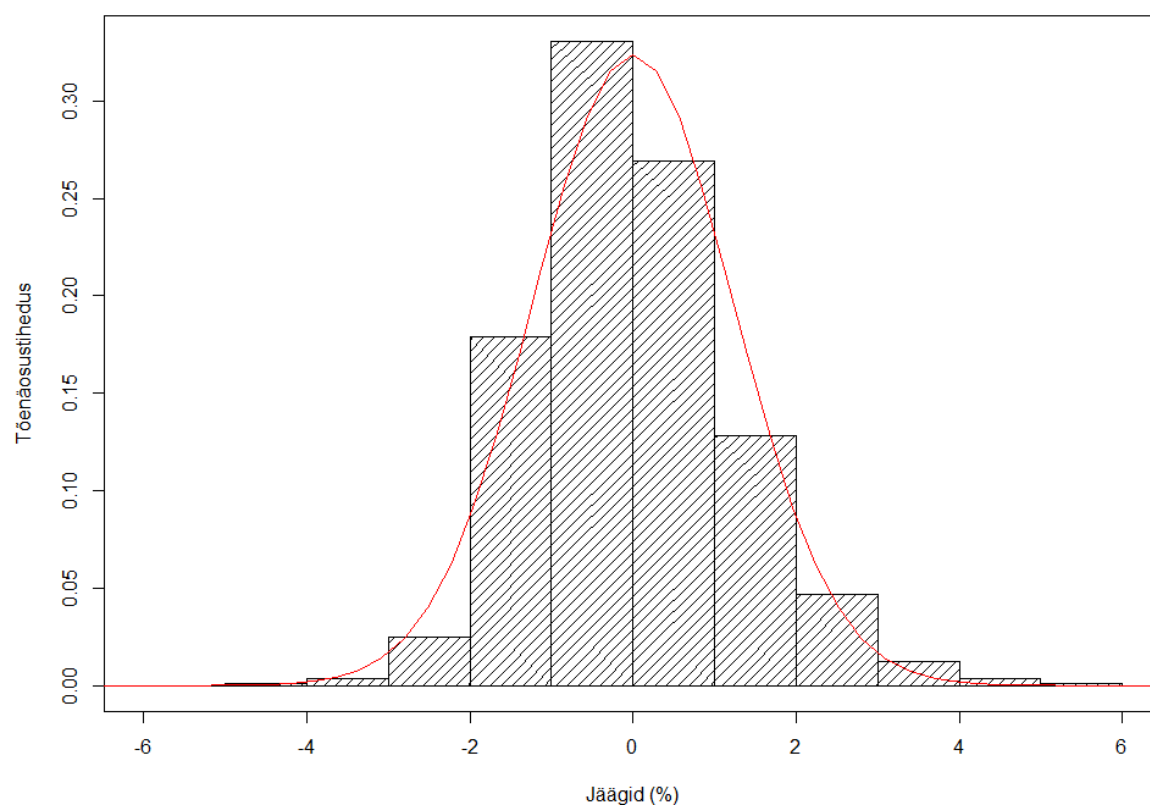
Lisa 12. Kooreta mahu ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega (suvi)



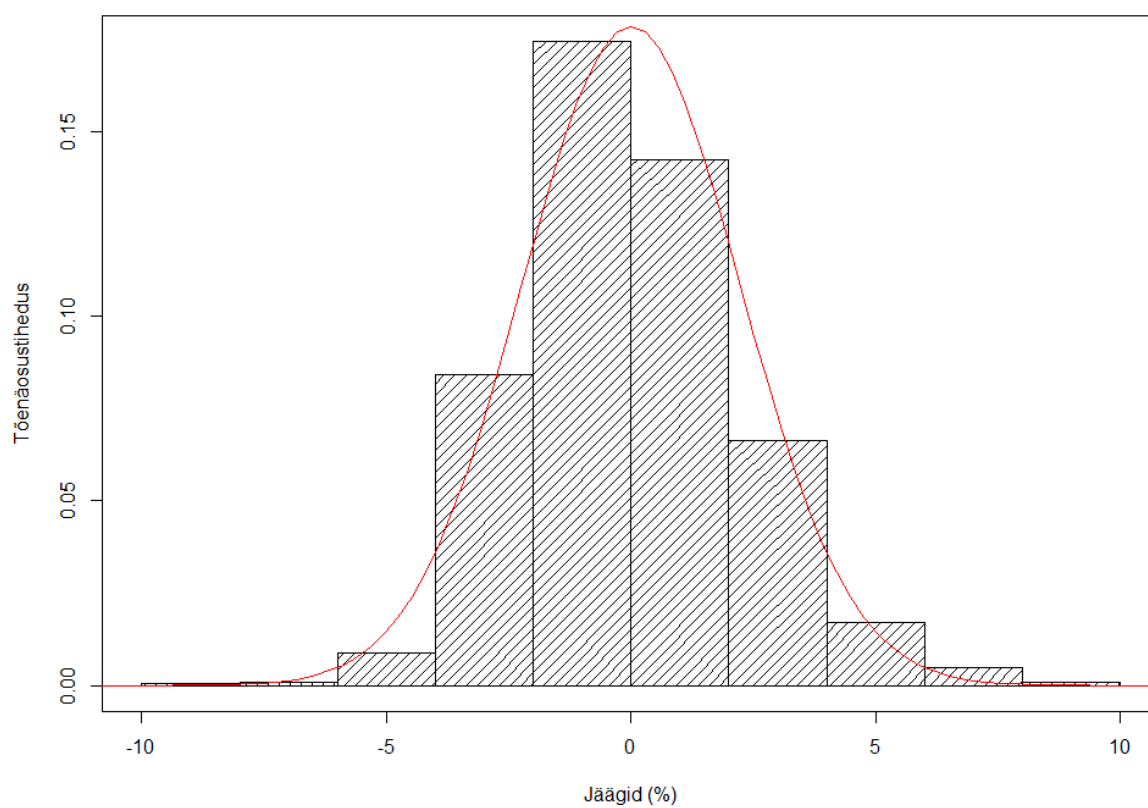
Lisa 13. Dispersioonanalüüsi jääkide jaotusdiagramm kahekordse koore paksuse sõltuvusest koorega diameetrist ning aastaajast koos normaaljaotuse joonega



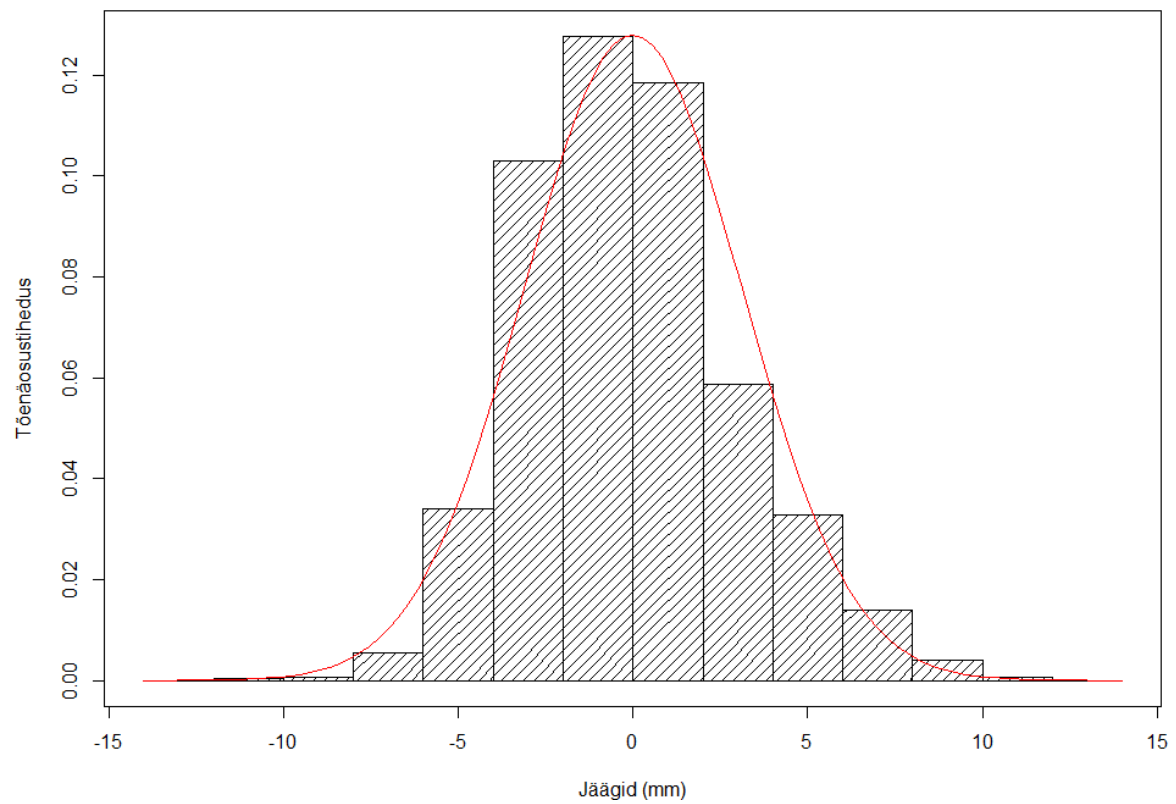
Lisa 14. Dispersioonanalüüsi jääkide jaotusdiagramm koore osakaalu (diameetrist) sõltuvusest koorega diameetrist ning aastaajast koos normaaljaotuse joonega



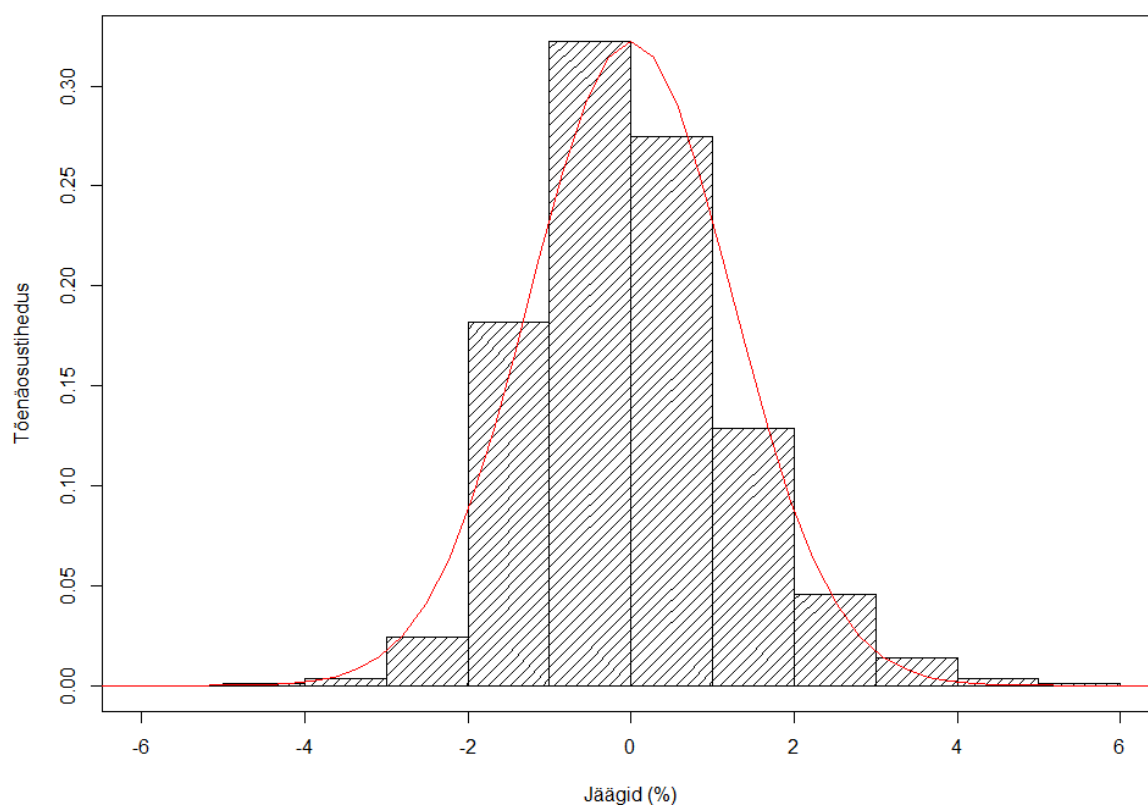
Lisa 15. Dispersioonanalüüsi jääkide jaotusdiagramm koore osakaalu (mahust) sõltuvusest koorega diameetrist ning aastaajast koos normaaljaotuse joonega



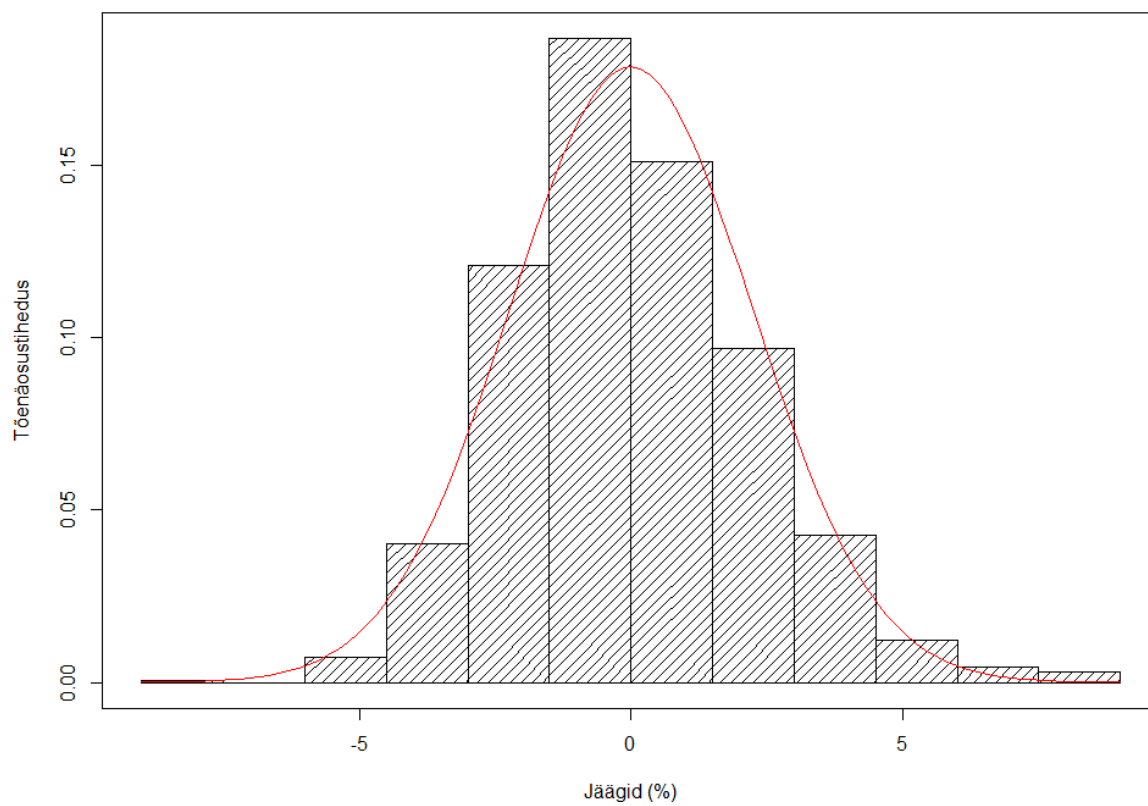
**Lisa 16. Kahekordse koore paksuse ja temperatuuri vahelise seose regressioonijäägid
koos normaaljaotuse joonega**



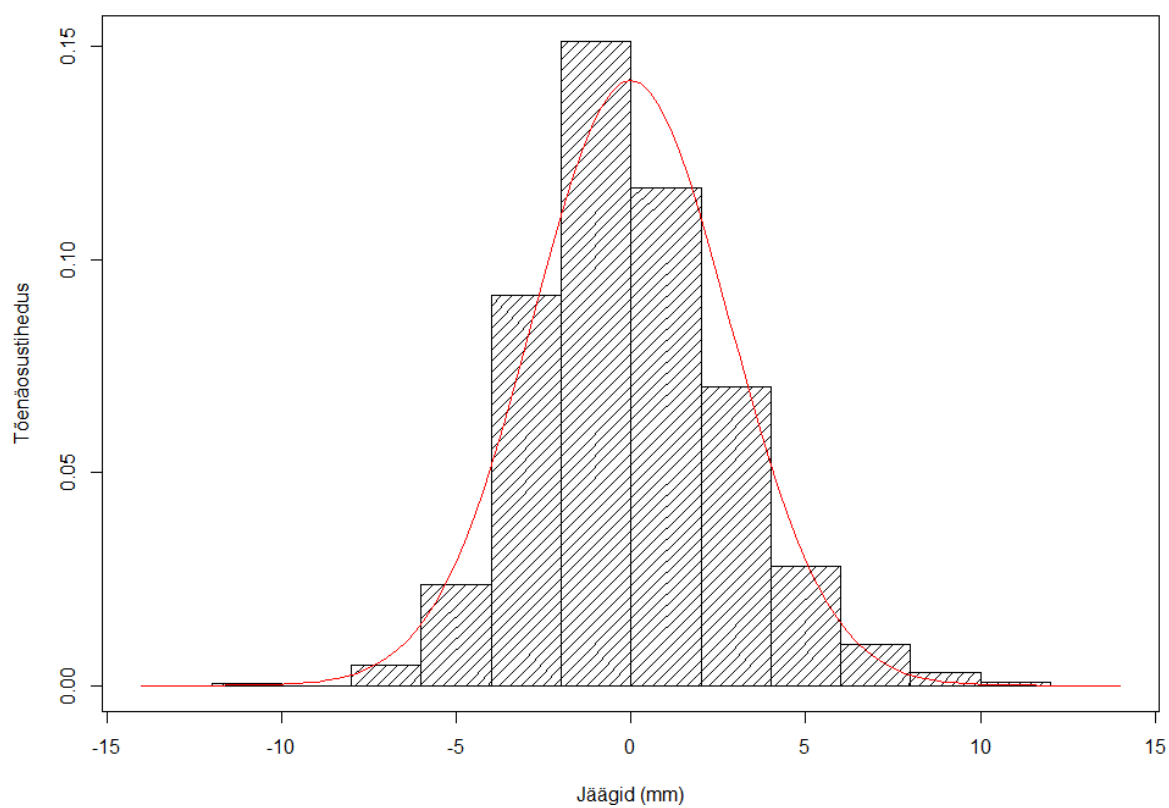
**Lisa 17. Koore osakaalu diameetrist ja temperatuuri vahelise seose regressioonijäägid
koos normaaljaotuse joonega**



**Lisa 18. Koore osakaalu mahust ja temperatuuri vahelise seose regressioonijäägid
koos normaaljaotuse joonega**



Lisa 19. Kahekordse koore paksuse, õhutemperatuuri ja koorega diameetri vahelise seose regressioonijäägid koos normaaljaotuse joonega



Lisa 20. Kahekordne koore paksus diameetrite kaupa talvisel perioodil ($t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Koor = $\beta_0 + \beta_1 \cdot d$, mm		β_0 = 3.601874		β_1 = 0.040373		d = paku diameeter koore pealt, mm			
d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor
170	10.47	215	12.28	260	14.10	305	15.92	350	17.73
171	10.51	216	12.32	261	14.14	306	15.96	351	17.77
172	10.55	217	12.36	262	14.18	307	16.00	352	17.81
173	10.59	218	12.40	263	14.22	308	16.04	353	17.85
174	10.63	219	12.44	264	14.26	309	16.08	354	17.89
175	10.67	220	12.48	265	14.30	310	16.12	355	17.93
176	10.71	221	12.52	266	14.34	311	16.16	356	17.97
177	10.75	222	12.56	267	14.38	312	16.20	357	18.02
178	10.79	223	12.61	268	14.42	313	16.24	358	18.06
179	10.83	224	12.65	269	14.46	314	16.28	359	18.10
180	10.87	225	12.69	270	14.50	315	16.32	360	18.14
181	10.91	226	12.73	271	14.54	316	16.36	361	18.18
182	10.95	227	12.77	272	14.58	317	16.40	362	18.22
183	10.99	228	12.81	273	14.62	318	16.44	363	18.26
184	11.03	229	12.85	274	14.66	319	16.48	364	18.30
185	11.07	230	12.89	275	14.70	320	16.52	365	18.34
186	11.11	231	12.93	276	14.74	321	16.56	366	18.38
187	11.15	232	12.97	277	14.79	322	16.60	367	18.42
188	11.19	233	13.01	278	14.83	323	16.64	368	18.46
189	11.23	234	13.05	279	14.87	324	16.68	369	18.50
190	11.27	235	13.09	280	14.91	325	16.72	370	18.54
191	11.31	236	13.13	281	14.95	326	16.76	371	18.58
192	11.35	237	13.17	282	14.99	327	16.80	372	18.62
193	11.39	238	13.21	283	15.03	328	16.84	373	18.66
194	11.43	239	13.25	284	15.07	329	16.88	374	18.70
195	11.47	240	13.29	285	15.11	330	16.92	375	18.74
196	11.51	241	13.33	286	15.15	331	16.97	376	18.78
197	11.56	242	13.37	287	15.19	332	17.01	377	18.82
198	11.60	243	13.41	288	15.23	333	17.05	378	18.86
199	11.64	244	13.45	289	15.27	334	17.09	379	18.90
200	11.68	245	13.49	290	15.31	335	17.13	380	18.94
201	11.72	246	13.53	291	15.35	336	17.17		
202	11.76	247	13.57	292	15.39	337	17.21		
203	11.80	248	13.61	293	15.43	338	17.25		
204	11.84	249	13.65	294	15.47	339	17.29		
205	11.88	250	13.70	295	15.51	340	17.33		
206	11.92	251	13.74	296	15.55	341	17.37		
207	11.96	252	13.78	297	15.59	342	17.41		
208	12.00	253	13.82	298	15.63	343	17.45		
209	12.04	254	13.86	299	15.67	344	17.49		
210	12.08	255	13.90	300	15.71	345	17.53		
211	12.12	256	13.94	301	15.75	346	17.57		
212	12.16	257	13.98	302	15.79	347	17.61		
213	12.20	258	14.02	303	15.83	348	17.65		
214	12.24	259	14.06	304	15.88	349	17.69		

Lisa 21. Kahekordne koore paksus diameetrite kaupa suvisel perioodil ($t > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Koor = $\beta_0 + \beta_1 \cdot d$, mm		$\beta_0 = 4.010558$		$\beta_1 = 0.044246$		d = paku diameeter koore pealt, mm			
d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor	d	Koor
170	11.53	215	13.52	260	15.51	305	17.51	350	19.50
171	11.58	216	13.57	261	15.56	306	17.55	351	19.54
172	11.62	217	13.61	262	15.60	307	17.59	352	19.59
173	11.67	218	13.66	263	15.65	308	17.64	353	19.63
174	11.71	219	13.70	264	15.69	309	17.68	354	19.67
175	11.75	220	13.74	265	15.74	310	17.73	355	19.72
176	11.80	221	13.79	266	15.78	311	17.77	356	19.76
177	11.84	222	13.83	267	15.82	312	17.82	357	19.81
178	11.89	223	13.88	268	15.87	313	17.86	358	19.85
179	11.93	224	13.92	269	15.91	314	17.90	359	19.89
180	11.97	225	13.97	270	15.96	315	17.95	360	19.94
181	12.02	226	14.01	271	16.00	316	17.99	361	19.98
182	12.06	227	14.05	272	16.05	317	18.04	362	20.03
183	12.11	228	14.10	273	16.09	318	18.08	363	20.07
184	12.15	229	14.14	274	16.13	319	18.13	364	20.12
185	12.20	230	14.19	275	16.18	320	18.17	365	20.16
186	12.24	231	14.23	276	16.22	321	18.21	366	20.20
187	12.28	232	14.28	277	16.27	322	18.26	367	20.25
188	12.33	233	14.32	278	16.31	323	18.30	368	20.29
189	12.37	234	14.36	279	16.36	324	18.35	369	20.34
190	12.42	235	14.41	280	16.40	325	18.39	370	20.38
191	12.46	236	14.45	281	16.44	326	18.43	371	20.43
192	12.51	237	14.50	282	16.49	327	18.48	372	20.47
193	12.55	238	14.54	283	16.53	328	18.52	373	20.51
194	12.59	239	14.59	284	16.58	329	18.57	374	20.56
195	12.64	240	14.63	285	16.62	330	18.61	375	20.60
196	12.68	241	14.67	286	16.66	331	18.66	376	20.65
197	12.73	242	14.72	287	16.71	332	18.70	377	20.69
198	12.77	243	14.76	288	16.75	333	18.74	378	20.74
199	12.82	244	14.81	289	16.80	334	18.79	379	20.78
200	12.86	245	14.85	290	16.84	335	18.83	380	20.82
201	12.90	246	14.90	291	16.89	336	18.88		
202	12.95	247	14.94	292	16.93	337	18.92		
203	12.99	248	14.98	293	16.97	338	18.97		
204	13.04	249	15.03	294	17.02	339	19.01		
205	13.08	250	15.07	295	17.06	340	19.05		
206	13.13	251	15.12	296	17.11	341	19.10		
207	13.17	252	15.16	297	17.15	342	19.14		
208	13.21	253	15.20	298	17.20	343	19.19		
209	13.26	254	15.25	299	17.24	344	19.23		
210	13.30	255	15.29	300	17.28	345	19.28		
211	13.35	256	15.34	301	17.33	346	19.32		
212	13.39	257	15.38	302	17.37	347	19.36		
213	13.43	258	15.43	303	17.42	348	19.41		
214	13.48	259	15.47	304	17.46	349	19.45		

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Reigo Roos,

sünniaeg 15.10.1992,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Sanglepa (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) kooreparandi uurimine Tarmeko Spoon AS näitel“, mille juhendaja on Allar Padari,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

(allkiri)

Tartu, 28.05.2018

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)